

Совместная графовая модель физического, канального и сетевого уровней ИКТ-инфраструктуры локального поставщика сетевых услуг

Антон Андреев, Александр Колосов

Кафедра Информатики и математического обеспечения
Факультет Математики и информационных технологий
Петрозаводский государственный университет

Научный семинар «Проблемы современных
информационно-вычислительных систем»

МГУ им. М. В. Ломоносова, 24.11.2015

Классы поставщиков сетевых услуг

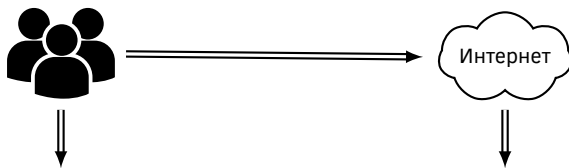
Поставщик сетевых услуг (ПСУ) — организация, сопровождающая ИКТ-инфраструктуру, на базе которой она предоставляет набор сетевых услуг.

Примеры ПСУ:

- Интернет-провайдеры,
- центры обработки данных,
- корпоративные сети,
- сети университетов,
- сети кампусов.

Локальные ПСУ (лПСУ) — организации, выполняющие функции ПСУ для собственных нужд.

Задачи сетевого управления в ЛПСУ

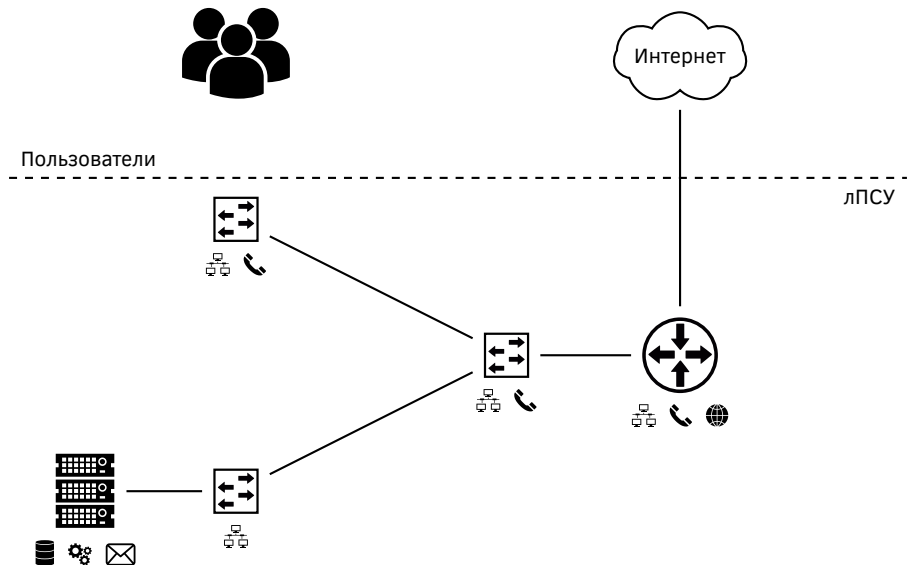


Пользователи

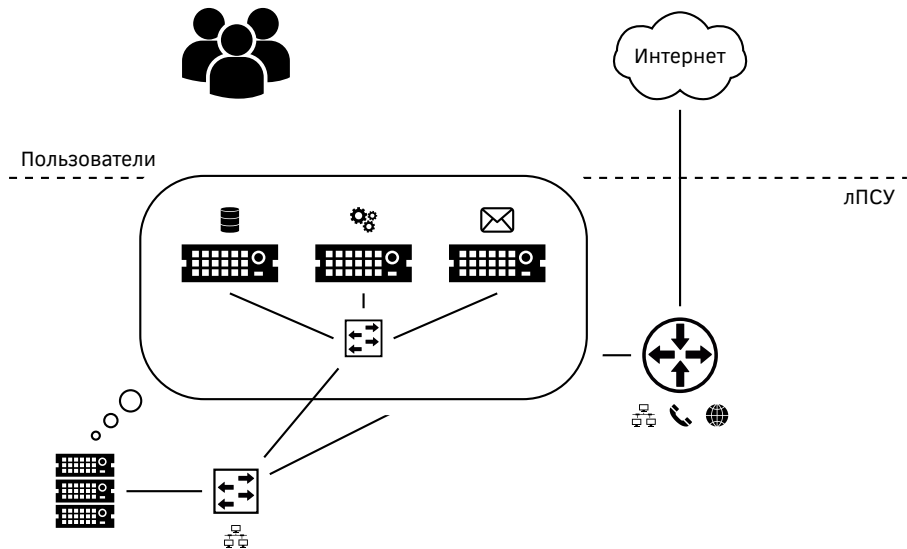
ЛПСУ



Задачи сетевого управления в ЛПСУ



Задачи сетевого управления в ЛПСУ



Граф ИКТ-инфраструктуры лПСУ (Сети)

Решение большинства задач сетевого управления требует описания структуры Сети:

- устройства, их сетевые порты и физические связи между портами разных устройств;
- группировка устройств и портов:
 - широковещательные домены (VLAN),
 - IP-подсети,
 - виртуальное оборудование,
 - multicast-группы.

Применение:

- документирование Сети;
- локализация точек отказа;
- моделирование и проектирование Сетей;
- визуализация текущей нагрузки на элементы Сети.

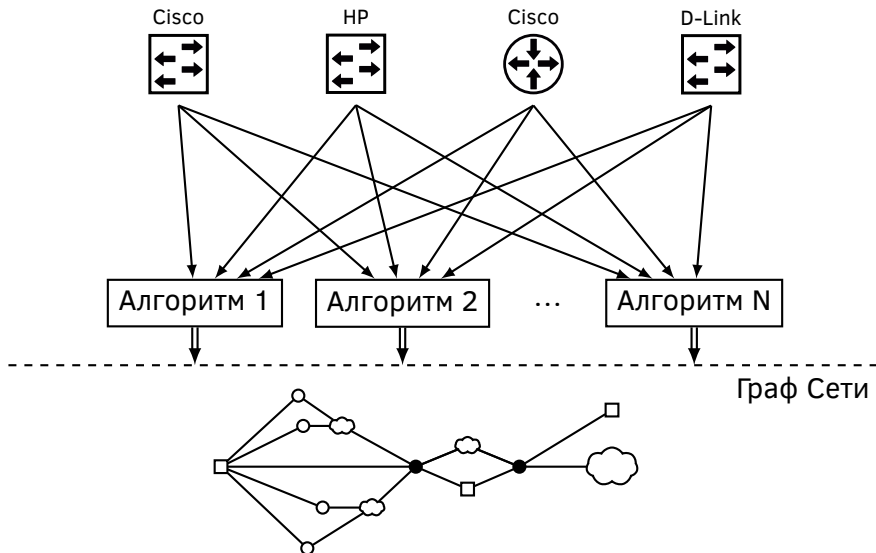
Задача построения графа Сети

Построение графа Сети: **1)** сбор данных об устройствах и соединениях между ними; **2)** представление собранных данных в виде графа.

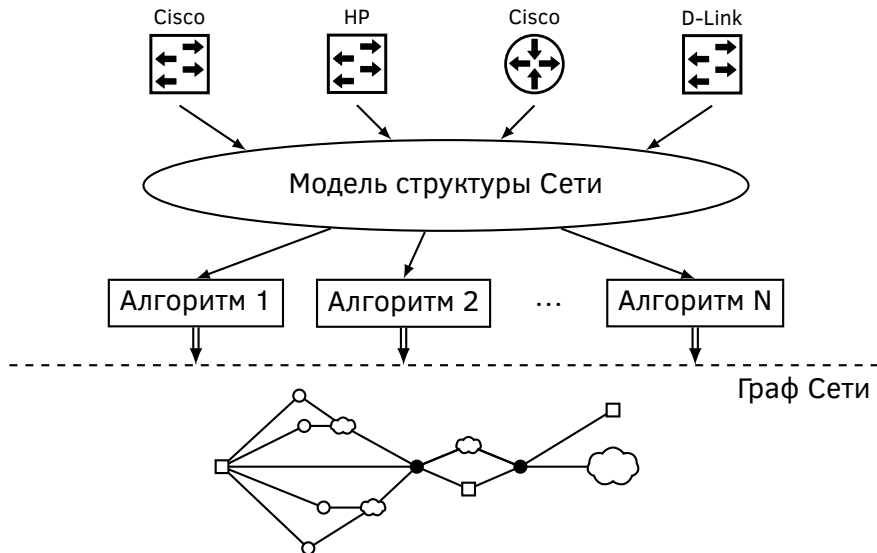
Основные проблемы:

- 1** стандартами IEEE 802.1 изначально не предусмотрены возможности обнаружения участников Сети;
- 2** стандартизованные сравнительно недавно механизмы обнаружения недостаточно распространены;
- 3** необходимость использования косвенных данных;
- 4** неполнота и разнородность данных;
- 5** различия в реализации стандартов производителями сетевого оборудования;
- 6** изменчивость структуры Сети;
- 7** сложность современных Сетей (VLAN, тоннели, виртуализация).

Задача моделирования структуры Сети



Задача моделирования структуры Сети



Экспериментальная платформа сетевого управления «Nest»

ЭП Nest предназначена для исследования моделей и методов сетевого управления.

- Автоматизированное построение графа сетевой структуры ЛПСУ
- Средства для описания пространственной и организационной структур ЛПСУ
- Визуализация графа
- Инструменты взаимодействия с графом
- Моделирование потоков сетевого трафика

Цели и задачи

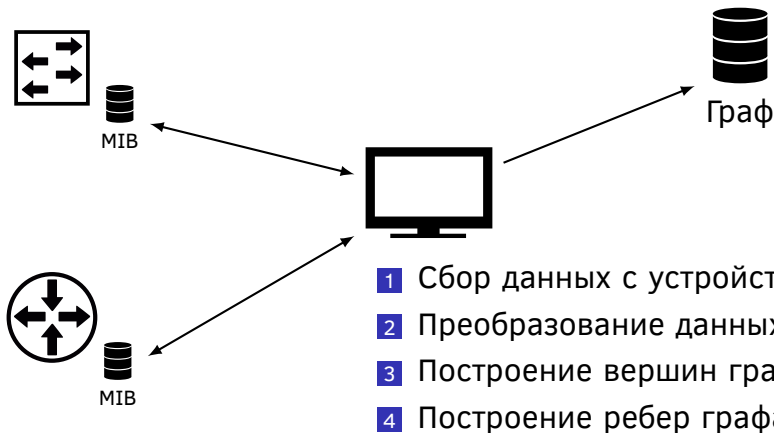
Цель

Разработать универсальный программный инструмент для автоматизации процесса построения графа Сети с возможностью расширения его процедур получения данных о Сети.

Задачи:

- Разработать математическую модель для описания элементов Сети и их структурных взаимосвязей.
- Разработать процедуры обработки данных, получаемых от сетевых устройств в соответствии с этой моделью.
- Разработать алгоритм построения графа Сети на основе предложенной модели.
- Реализовать и протестировать разработанные алгоритмы в рамках ЭП «Nest».

Общая концепция алгоритмов построения графа Сети



Доступные данные о структуре Сети

Получение данных с помощью протокола SNMP (Simple Network Management Protocol)

- Данные об устройствах (интерфейсы, адреса, вхождение во VLAN): IF-MIB, IP-MIB, Q-BRIDGE-MIB, VTP-MIB, CISCO-VLAN-MEMBERSHIP-MIB и др.
- Данные об окружении устройств: остовное дерево (BRIDGE-MIB), данные о соседях (CISCO-CDP-MIB, LLDP-MIB)
- Данные о достижимости интерфейсов (таблицы коммутации и маршрутизации, ARP-кэш): BRIDGE-MIB, RFC1213-MIB, IP-MIB, RIPv2-MIB, BGP4-MIB и др.

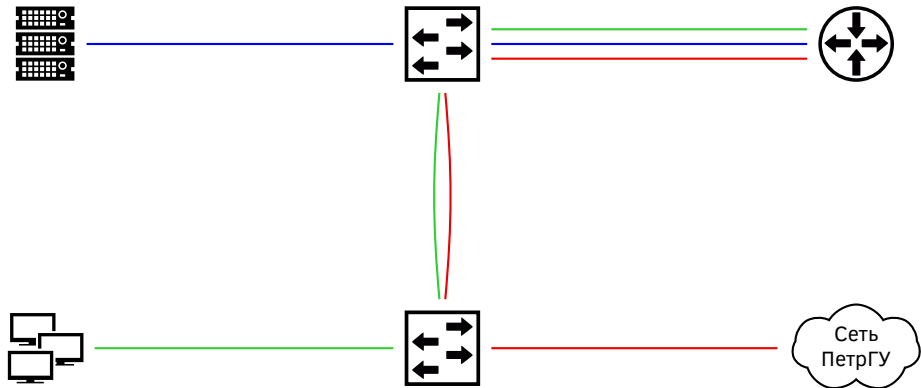
Ключевые работы по теме

-  [Myung-Hee Son, Bheom-Soon Joo, et al.](#)
Physical Topology Discovery for Metro Ethernet Networks. 2005
-  [Hassan Gobjuka, Yuri J. Breitbart.](#)
Ethernet Topology Discovery for Networks With Incomplete Information. 2010
-  [В. В. Воеводин, К. С. Стефанов.](#)
Автоматическое определение и описание сетевой инфраструктуры суперкомпьютеров. 2014
-  [Li Zichao, Hu Ziwei, et al.](#)
Ethernet topology discovery for virtual local area networks with incomplete information. 2014

Требования к модели структуры Сети

- Моделирование Сетей, построенных в соответствии со стандартами Ethernet (IEEE 802.1/802.3) и IP (RFC 791).
- Моделирование структуры 1, 2, 3 уровней модели OSI:
 - устройства и их порты на физическом уровне,
 - логические интерфейсы и VLAN на канальном уровне,
 - сетевые интерфейсы и IP-подсети на сетевом уровне.
- Основа для учета различных источников данных о структуре сети.

Фрагмент Сети кафедры ИМО ПетрГУ



Модель структуры физического уровня

D — Множество устройств; $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 \in D$

d_3



d_1



d_2



d_5

d_4

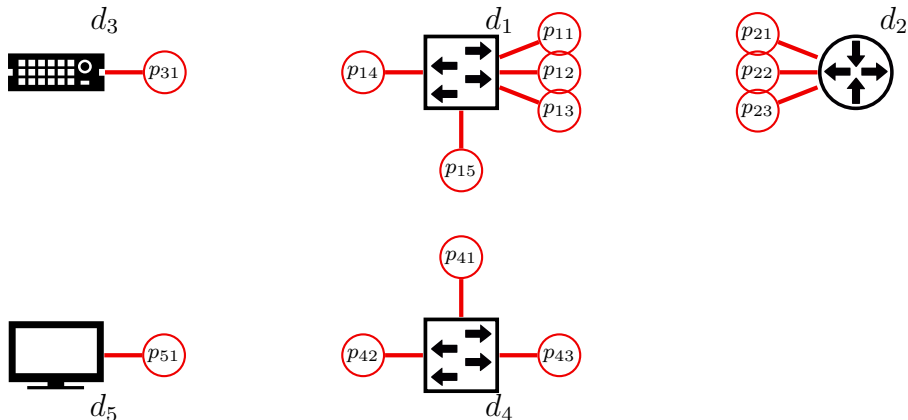


Модель структуры физического уровня

P — множество портов;

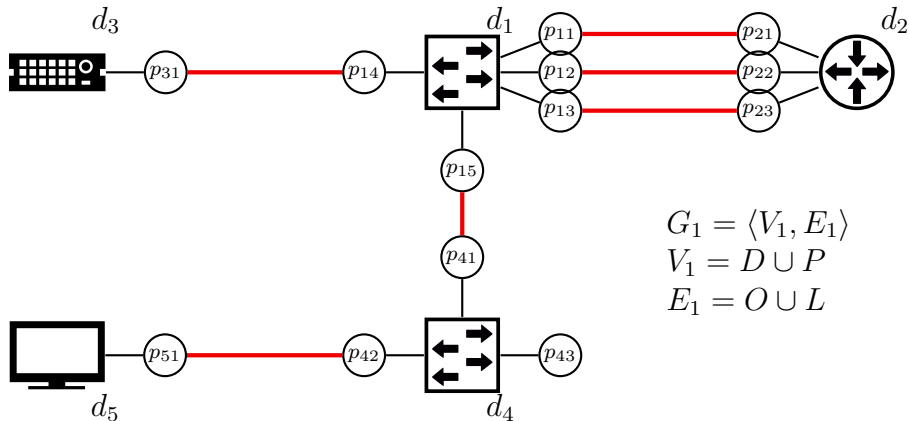
каждый порт связан с одним устройством;

O — множество ребер принадлежности портов устройствам.



Модель структуры физического уровня

L — множество ребер физической связи между портами;
 Каждый порт может быть связан только с одним другим портом.



$$G_1 = \langle V_1, E_1 \rangle$$

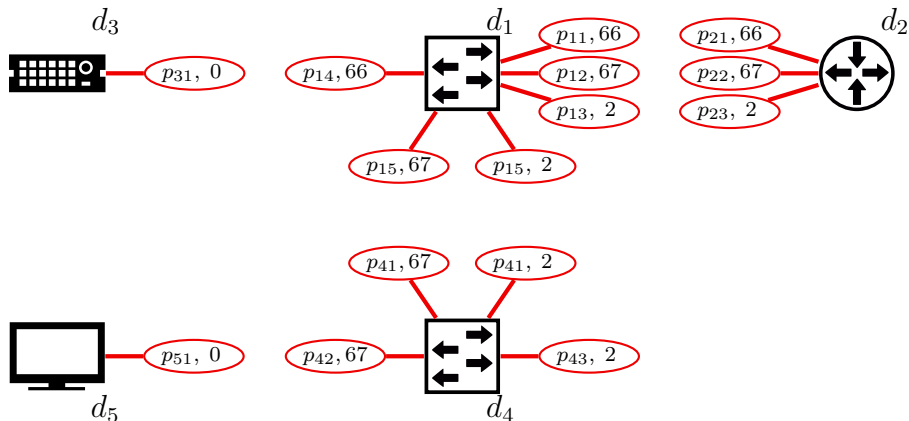
$$V_1 = D \cup P$$

$$E_1 = O \cup L$$

Модель структуры канального уровня

$(p, i) \in VP, p \in P, i \in \mathbb{N}_0$ — интерфейсы канального уровня;
каждый интерфейс связан с одним устройством;

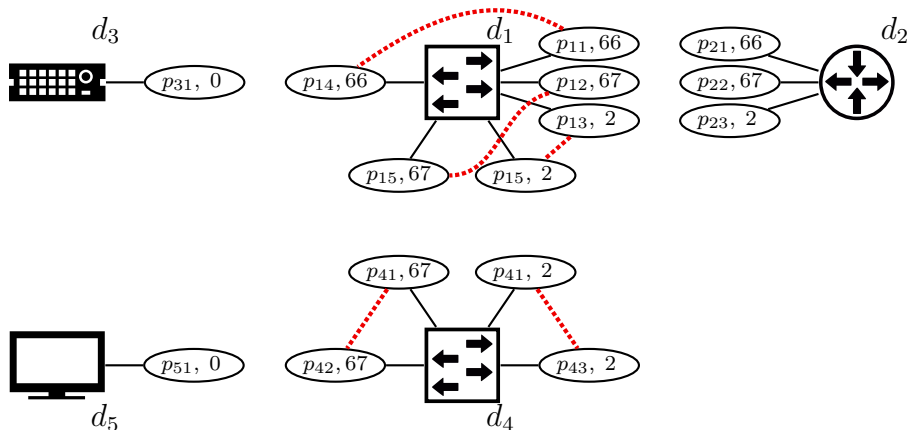
VO — множество ребер принадлежности интерфейсов



Модель структуры канального уровня

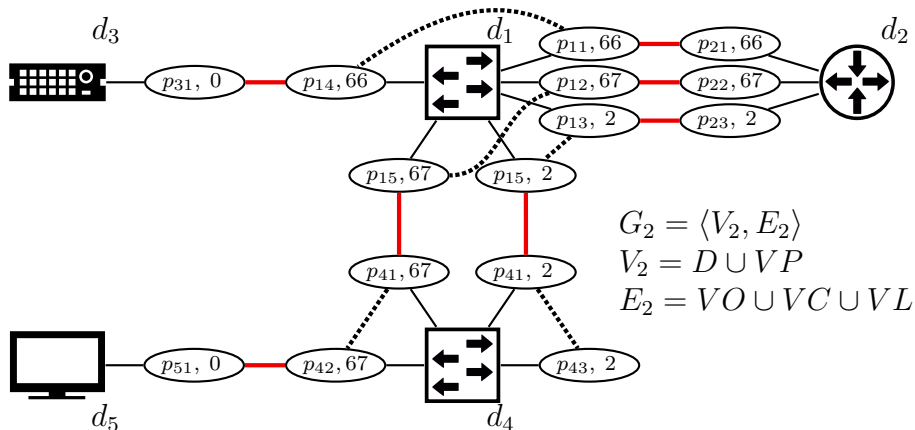
Интерфейсы одного устройства могут находиться в симметричном транзитивном отношении коммутации;

VC — множество ребер коммутации.



Модель структуры канального уровня

VL — множество ребер связи канального уровня;
интерфейс может быть связан с одним другим интерфейсом.



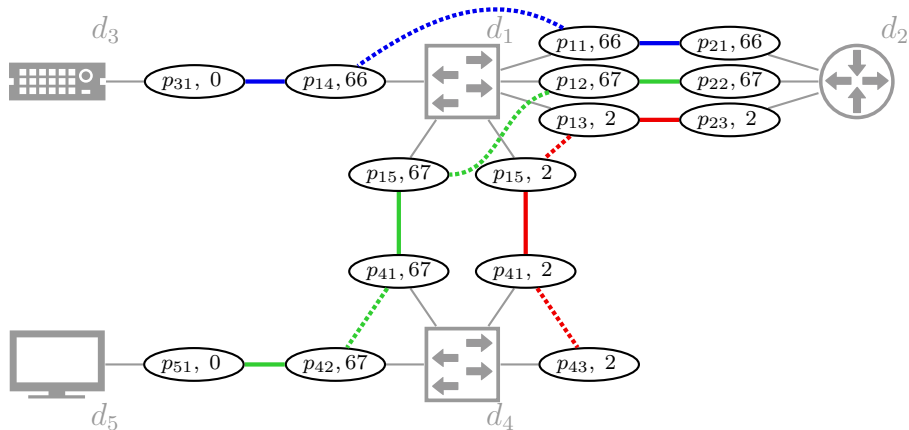
$$G_2 = \langle V_2, E_2 \rangle$$

$$V_2 = D \cup VP$$

$$E_2 = VO \cup VC \cup VL$$

Модель широковещательных доменов Сети

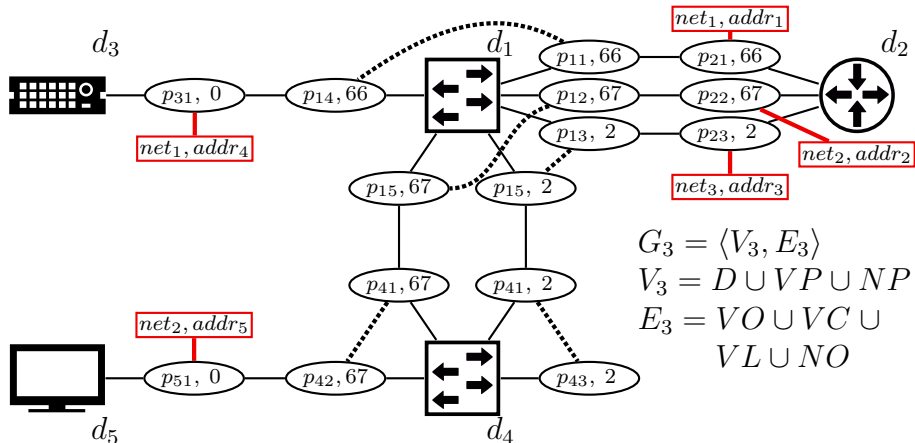
Компоненты связности графа $\langle VP, VC \cup VL \rangle$



Модель структуры сетевого уровня

NP — сетевые интерфейсы;

NO — ребра принадлежности сетевых интерфейсов.



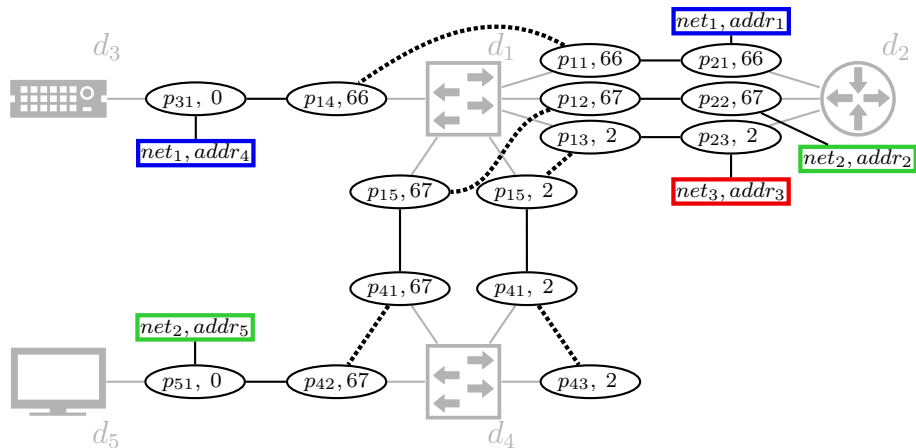
$$G_3 = \langle V_3, E_3 \rangle$$

$$V_3 = D \cup V \cup P \cup NP$$

$$E_3 = VO \cup VC \cup VL \cup NO$$

Модель IP-подсетей

Рассматривается граф $\langle VP \cup VN, VC \cup VL \cup NO \rangle$



Совместная модель структуры Сети

Модель структуры физического уровня

Граф $G_1 = \langle V_1, E_1 \rangle$, $V_1 = D \cup P$, $E_1 = O \cup L$

Модель структуры канального уровня

Граф $G_2 = \langle V_2, E_2 \rangle$, $V_2 = D \cup VP$, $E_2 = VO \cup VC \cup VL$

Модель структуры сетевого уровня

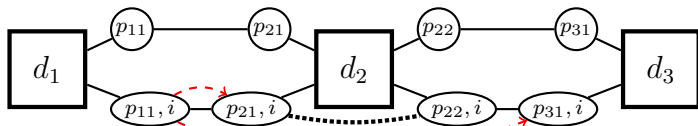
Граф $G_3 = \langle V_3, E_3 \rangle$,
 $V_3 = D \cup VP \cup NP$, $E_3 = VO \cup NO \cup VC \cup VL$

Совместная модель структуры Сети

Граф $G = \langle V, E \rangle$, множество вершин $V = D \cup P \cup VP \cup NP$,
 множество ребер $E = O \cup VO \cup NO \cup L \cup VC \cup VL$

Множества достижимости канальных интерфейсов

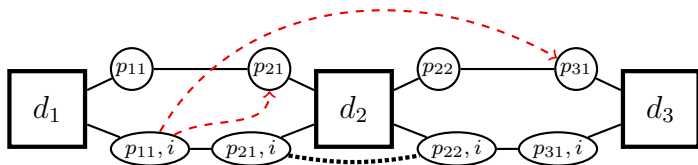
- Интерфейс канального уровня vq достижим от интерфейса vp , если между ними существует путь по ребрам канального уровня, не оканчивающийся ребрами коммутации.
- $VRS_{vp} \subseteq VP$, все интерфейсы, достижимые от vp .



$$VRS_{(p_{11},i)} = \{(p_{21},i), (p_{31},i)\}$$

Множества достижимости портов

- Порт q достижим от интерфейса канального уровня vp , если существует интерфейс $(q, i) \in VP$, достижимый от vp .
- $RS_{vp} \subseteq P$, все порты, достижимые от vp .

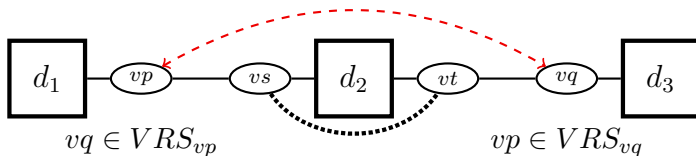


$$RS_{(p_{11,i})} = \{p_{21}, p_{31}\}$$

Свойства множеств достижимости

Свойство 1

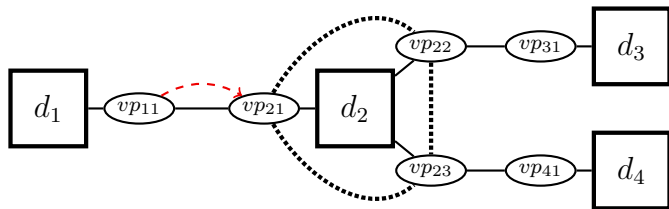
Если интерфейс vp достижим от интерфейса vq , то и vq достижим от vp .



Свойства множеств достижимости

Свойство 2

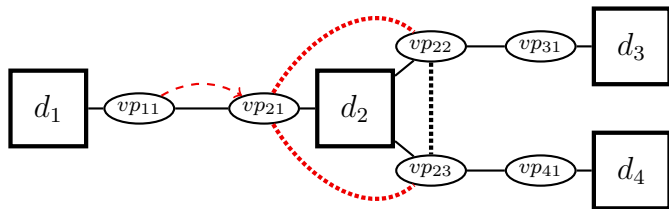
Если интерфейс vq достижим от интерфейса vp , то от vp достижимы все интерфейсы, достижимые от интерфейсов, коммутирующих с vq



Свойства множеств достижимости

Свойство 2

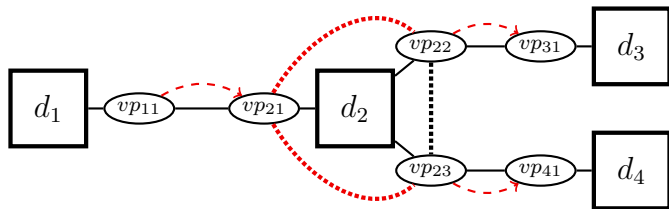
Если интерфейс vq достижим от интерфейса vp , то от vp достижимы все интерфейсы, достижимые от интерфейсов, коммутирующих с vq



Свойства множеств достижимости

Свойство 2

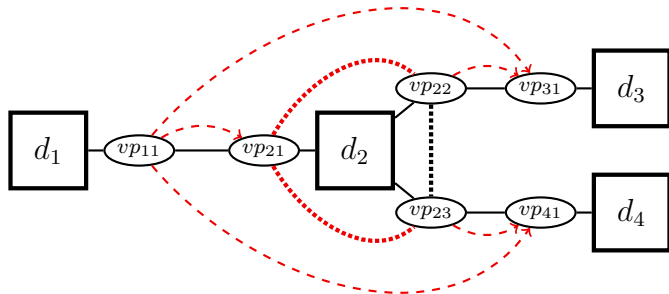
Если интерфейс vq достижим от интерфейса vp , то от vp достижимы все интерфейсы, достижимые от интерфейсов, коммутирующих с vq



Свойства множеств достижимости

Свойство 2

Если интерфейс vq достижим от интерфейса vp , то от vp достижимы все интерфейсы, достижимые от интерфейсов, коммутирующих с vq



Алгоритм построения графа Сети

1 Сбор данных, предоставляемых устройствами

- Данные об устройствах (адреса портов, имена устройств и т.д.)
- Данные о конфигурации VLAN и IP
- Данные о связях

2 Идентификация вершин графа

- Построение известных устройств, портов, интерфейсов, сетевых интерфейсов, ребер принадлежности, ребер коммутации

3 Построение ребер графа

- 1 Дополнение множеств достижимости по свойствам 1, 2
- 2 Поиск потенциальных связей
- 3 Просеивание потенциальных связей и построение ребер

Сбор данных и идентификация вершин

- Опрос обнаруженных или заданных IP-адресов с помощью SNMP
- Создание вершин графа для обнаруженных устройств, портов, интерфейсов и сетевых интерфейсов
- Построение известных ребер принадлежности
- Построение известных ребер коммутации
- Заполнение множеств достижимости интерфейсов по данным, собранным с устройств (CDP, LLDP, STP, AFT, ARP).

Алгоритм построения графа Сети

1 Сбор данных, предоставляемых устройствами

- Данные об устройствах (адреса портов, имена устройств и т.д.)
- Данные о конфигурации VLAN и IP
- Данные о связях

2 Идентификация вершин графа

- Построение известных устройств, портов, интерфейсов, сетевых интерфейсов, ребер принадлежности, ребер коммутации

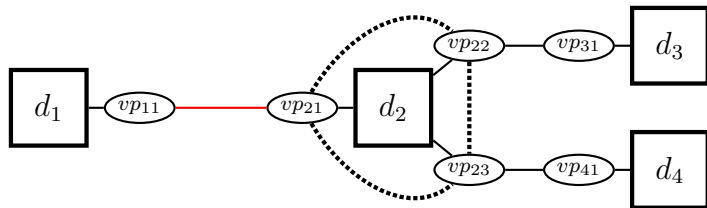
3 Построение ребер графа

- 1 Дополнение множеств достижимости по свойствам 1, 2
- 2 Поиск потенциальных связей
- 3 Просеивание потенциальных связей и построение ребер

Поиск потенциальных связей

Теорема 1

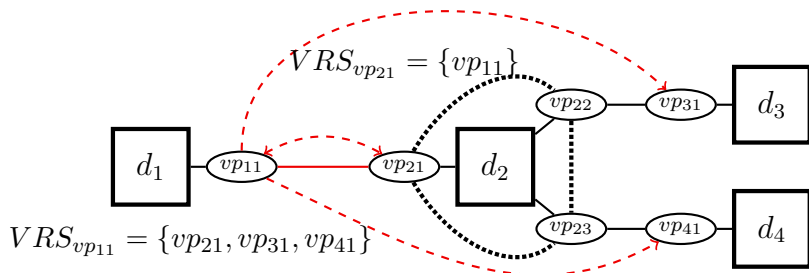
Если между двумя интерфейсами vp и vq двух устройств есть соединение на канальном уровне, то нет другого интерфейса, одновременно достижимого и от vp , и от vq или от интерфейсов с ними коммутирующих



Поиск потенциальных связей

Теорема 1

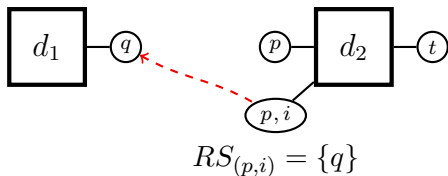
Если между двумя интерфейсами vp и vq двух устройств есть соединение на канальном уровне, то нет другого интерфейса, одновременно достижимого и от vp , и от vq или от интерфейсов с ними коммутирующих



Поиск потенциальных связей

Теорема 2

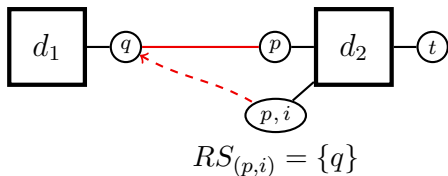
Если множество достижимости RS какого-либо интерфейса $vp = (p, i)$ состоит из одного элемента q , то порт p соединен на физическом уровне с q .



Поиск потенциальных связей

Теорема 2

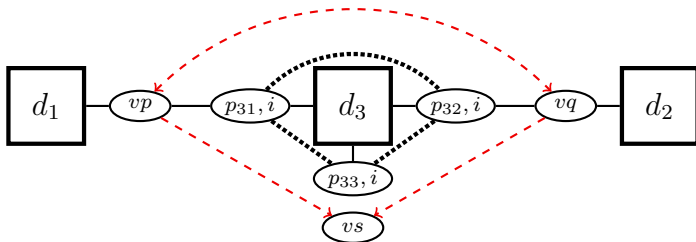
Если множество достижимости RS какого-либо интерфейса $vp = (p, i)$ состоит из одного элемента q , то порт p соединен на физическом уровне с q .



Обнаружение промежуточных концентраторов

Теорема 3

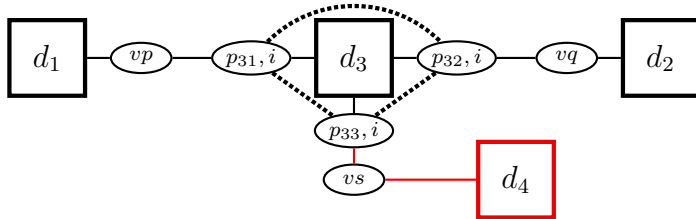
Если интерфейсы vp и vq , достижимые друг от друга, имеют общие достижимые интерфейсы, то последние не находятся на пути между vp и vq и не принадлежат устройствам, интерфейсы которых находятся на пути между vp и vq .



Обнаружение промежуточных концентраторов

Теорема 3

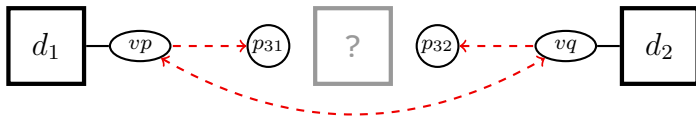
Если интерфейсы vp и vq , достижимые друг от друга, имеют общие достижимые интерфейсы, то последние не находятся на пути между vp и vq и не принадлежат устройствам, интерфейсы которых находятся на пути между vp и vq .



Обнаружение неуправляемых коммутаторов

Теорема 4

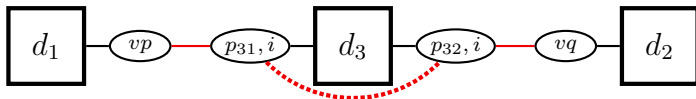
Если у двух достижимых друг от друга интерфейсов vp и vq различных устройств есть порты, достижимые от одного и не достижимые от другого интерфейса и интерфейсов, коммутирующих с таковым, то существуют интерфейсы, образованные всеми подобными портами и лежащие на пути между vp и vq .



Обнаружение неуправляемых коммутаторов

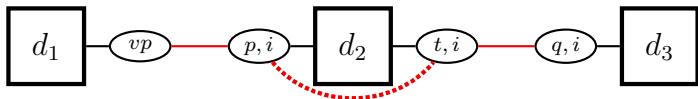
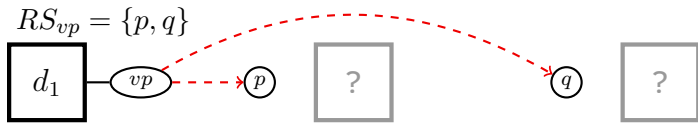
Теорема 4

Если у двух достижимых друг от друга интерфейсов vp и vq различных устройств есть порты, достижимые от одного и не достижимые от другого интерфейса и интерфейсов, коммутирующих с таковым, то существуют интерфейсы, образованные всеми подобными портами и лежащие на пути между vp и vq .



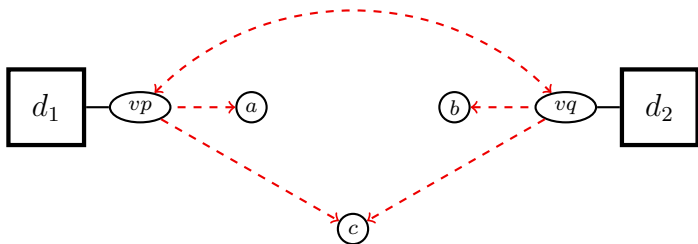
Устранение неопределенностей

От интерфейса достижимы несколько портов, но нет возможности установить, в какой последовательности они соединены.



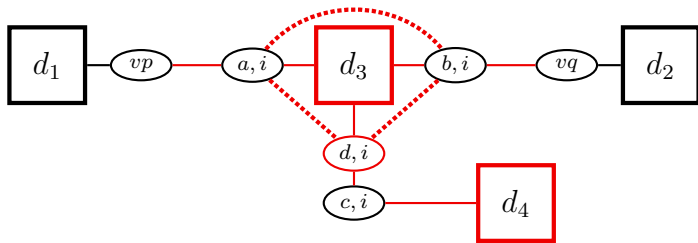
Устранение неопределенностей

У двух достижимых друг от друга интерфейсов есть общие достижимые порты или порты, достижимые от одного, но не достижимые от интерфейсов, коммутирующих с другим и нет возможности установить, каким образом они соединены.



Устранение неопределенностей

У двух достижимых друг от друга интерфейсов есть общие достижимые порты или порты, достижимые от одного, но не достижимые от интерфейсов, коммутирующих с другим и нет возможности установить, каким образом они соединены.



«Nestopo» — подсистема ЭП «Nest» построения графа Сети

- Построение графа структуры Сети на физическом, канальном и сетевом уровнях, отображение VLAN и IP-подсетей
- Использование SNMP для получения данных о структуре Сети
- Использование данных из стандартных MIB и предоставление интерфейса для подключения пользователем модулей обработки нестандартных MIB
- Представление графа в формате данных Nest для обеспечения доступа к нему из других подсистем
- Обеспечение возможности конфигурации подсистемы (адреса для опроса, параметры доступа и т. п.)

Тестирование «Nestopo»

1 Сеть ПетрГУ

- Системное тестирование в реальных сетях
- Отсутствие влияния на конфигурацию
- Непредсказуемость изменения структуры Сети

2 Виртуальные лаборатории GNS3

- Тестирование поведения в случаях редких конфигураций
- Продолжительная ручная конфигурация
- Малые масштабы

3 Автоматическая генерация сетевых структур

- Сети любых масштабов и конфигураций
- Возможность автоматизации тестирования
- Возможность исследования влияния неполноты данных
- Реализация в виде подсистемы Netgen

Метрики проекта

Метрики кода

Nestoro: 6700 строк кода, 67 классов

Netgen: 2200 строк кода, 10 классов

Метрики тестирования

Тип теста	Количество		
	Сеть ПетрГУ	GNS3	Netgen
Блочный	10	3	7
Системный	1	5	4

Технологии

Java 8, Groovy, система сборки Leiningen, модульная система Maven, система контроля версий Fossil, IDE NetBeans

Результаты

- Разработана модель структуры Сети на физическом, канальном и сетевом уровнях
- Разработан универсальный алгоритм построения графа структуры Сети на основе модели
- Алгоритм реализован в рамках ЭП Nest

Планы на будущее

- Отражение в модели беспроводных сетей, виртуальных машин, технологии multicast
- Сравнение эффективности с другими алгоритмами
- Тестирование на реальных Сетях крупных масштабов