

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.18

Математические модели, методы и комплекс программ
для описания структуры локальной вычислительной сети при
неполных исходных данных

Андреев Антон Александрович

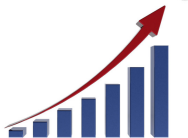
ПетрГУ
Научный руководитель:
к.т.н., доцент, А. И. Шабаев

Петрозаводский государственный университет

21 января 2021 г.

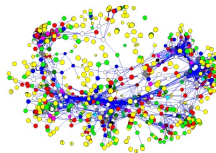
Актуальность работы

рост масштабов ЛВС



анализ нагрузки

рост сложности ЛВС



поиск первопричин
неисправностей

необходимость описания сети для
сетевого управления



моделирование и проектирование

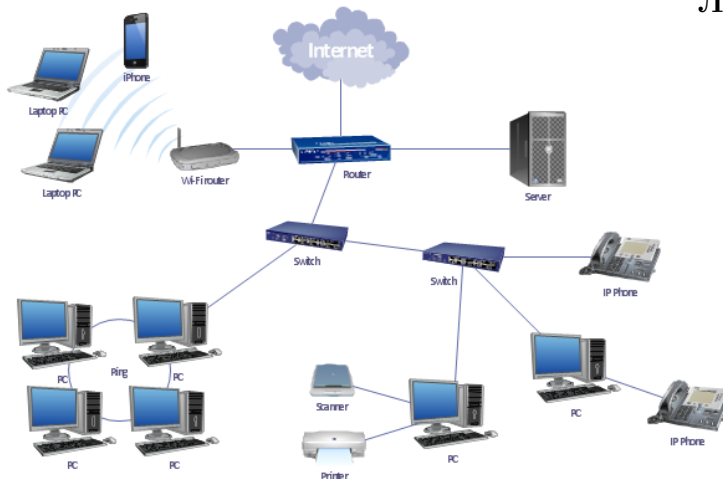
сложность построения и
поддержания описания вручную



документирование сети



Автоматизация описания структуры сети



Локальная сеть

Данные на
устройствах

Алгоритм
обработки
данных

Описание
структуры

Сложности автоматизации описания структуры ЛВС

- Современные ЛВС сложны (VLAN, VPN, виртуализация) и изменчивы;
- в разнородных ЛВС требуется использовать источники данных, неспециализированные для исследования структуры сети;
- данные потенциально неполны/неточны ввиду:
 - ▶ механик устаревания,
 - ▶ разнородности сетевого оборудования и ПО,
 - ▶ присутствие старых и «прозрачных» устройств,
 - ▶ недоступности данных по техническим причинам или для безопасности.



Цель, объект и предмет исследования

Объект

Структура вычислительной сети локального поставщика сетевых услуг (лПСУ).

Предмет

Математические модели и методы решения задачи автоматизации описания структуры сети лПСУ.

Цель

Повышение эффективности решения задач сетевого управления за счёт автоматизации описания структуры ЛВС на физическом, канальном и сетевом уровнях при неполных исходных данных.

Задачи

- 1** исследовать и проанализировать предметную область (структура сетей ЛПСУ), доступные научные источники и практические наработки по теме исследования;
- 2** разработать метод математического моделирования структуры ЛВС на канальном, физическом и сетевом уровне с учётом виртуальных локальных сетей, виртуальных частных сетей, агрегирования каналов и других структурных особенностей;
- 3** разработать и исследовать математическую модель для задачи автоматизированного описания структуры ЛВС при неполных исходных данных;
- 4** разработать численные методы автоматизированного описания структуры ЛВС на трёх уровнях при неполных данных, исследовать их эффективность;
- 5** реализовать разработанные методы в виде комплекса программ и апробировать его в сетях ЛПСУ.



Структурные особенности современных сетей

■ физический уровень — набор устройств и их портов:

- ▶ служебные устройства — коммутаторы, маршрутизаторы, точки доступа и др.;
- ▶ хосты — рабочие станции, серверы, мобильные устройства;
- ▶ периферийные устройства — принтеры, камеры, IP-телефоны;

■ канальный уровень:

- ▶ широковещательные домены (в том числе VLAN);
- ▶ агрегированные каналы;
- ▶ исключение избыточных связей (остовное дерево);

■ сетевой уровень — IP-подсети в рамках широковещательных доменов и маршрутизация между ними;

■ виртуальные объекты:

- ▶ виртуальные машины и порты;
- ▶ VPN.



Источники данных о структуре сети

- протокол SNMP: получение данных от служебных устройств;



- протоколы обнаружения соседей — CDP, LLDP;

CDP LLDP

- функциональные протоколы сети — STP, ARP;
- протоколы обнаружения служб — Bonjour, SLP;
- учётные служебные таблицы: таблицы коммутации, маршрутизации, VLAN.



Обзор предыдущих работ

	Детализация				Точность			сложность
	VLAN	агрегирование каналов, VPN	несколько уровней	прозрачные устройства	множественные источники данных	неполные данные	теоретический анализ	
Y. Bejerano (2009)				✓		✓	✓	$O(N^2)$
Н. Gobjuka и Y.J. Breitbar (2010)				✓		✓	✓	$O(N^3)$
Gang He и др. (2013)					✓		✓	Н/Д
В. В. Воеводин и К. С. Стефанов (2014)					✓			Н/Д
Li Zichao (2014)	✓				✓	✓	+/-	Н/Д
X. Ma и T. Yu (2016)	✓					✓		Н/Д
Dancheng Li (2012)	✓			✓			✓	Н/Д
Shaopeng Zhou (2018)					✓			Н/Д
А. А. Андреев	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	$\Omega(N^3)$

Коммерческие аналоги

- 1 SolarWinds Network
Topology Mapper
- 2 Spiceworks Network
Mapping tool
- 3 ManageEngine
OpManager
- 4 OpenNMS
- 5 AggreGate Network
Manager
- 6 Cisco Network Assistant

solarwinds 

 spiceworks

ManageEngine 

 **openNMS**[®]
AggreGate

Мониторинг и управление сетями

- необходимость доступности и полноты данных от всех устройств,
- нет поддержки VLAN и агрегирования каналов (у некоторых), VPN (у всех).



Положения, выносимые на защиту

- 1** **Метод математического моделирования структуры сети ЛПСУ** на физическом, канальном и сетевом уровнях включая виртуальные локальные сети, виртуальные частные сети и агрегирование каналов. (глава 2)
- 2** **Численный метод решения задачи дополнения неполных данных о связях устройств на канальном уровне ЛВС**, использующий построенную математической модели задачи. (глава 2 п. 2.3.2, глава 3 п. 3.3)
- 3** **Численные методы автоматизированного описания структуры ЛВС** на физическом, канальном и сетевом уровнях с учётом виртуальных локальных сетей, виртуальных частных сетей и агрегирования каналов. (глава 3)
- 4** **Комплекс программ для автоматизированного описания структуры ЛВС** на основе разработанного математического обеспечения. (глава 4)



Модель физического уровня

D — множество устройств; P — множество портов;

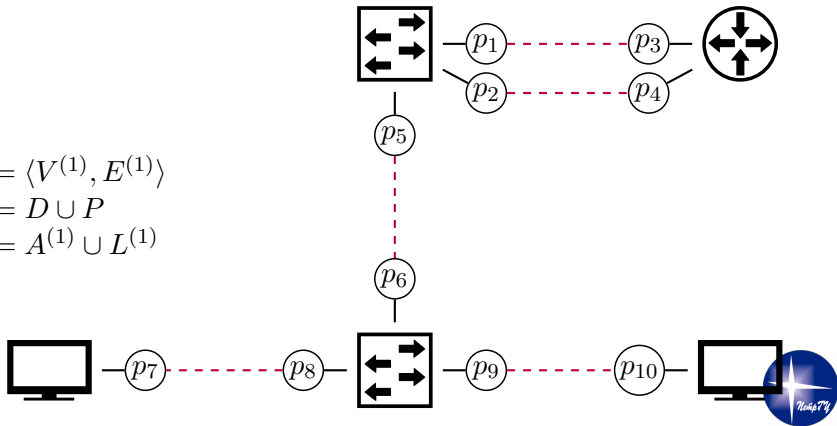
$A^{(1)}$ — множество рёбер ассоциации портов с устройствами;

$L^{(1)}$ — множество рёбер физических соединений;

$$G^{(1)} = \langle V^{(1)}, E^{(1)} \rangle$$

$$V^{(1)} = D \cup P$$

$$E^{(1)} = A^{(1)} \cup L^{(1)}$$



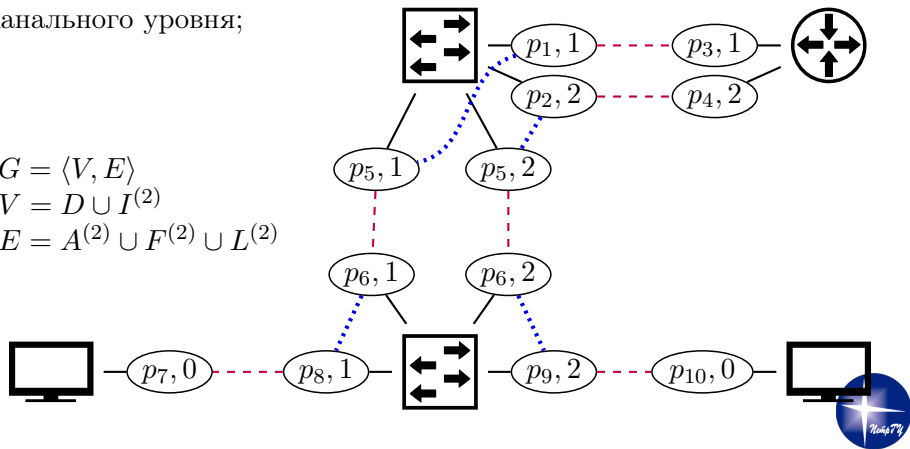
Модель канального уровня

$I^{(2)}$ — множество интерфейсов канального уровня;
 $A^{(2)}$, $F^{(2)}$, $L^{(2)}$ — рёбра ассоциации,
 коммутации и соединений
 канального уровня;

$$G = \langle V, E \rangle$$

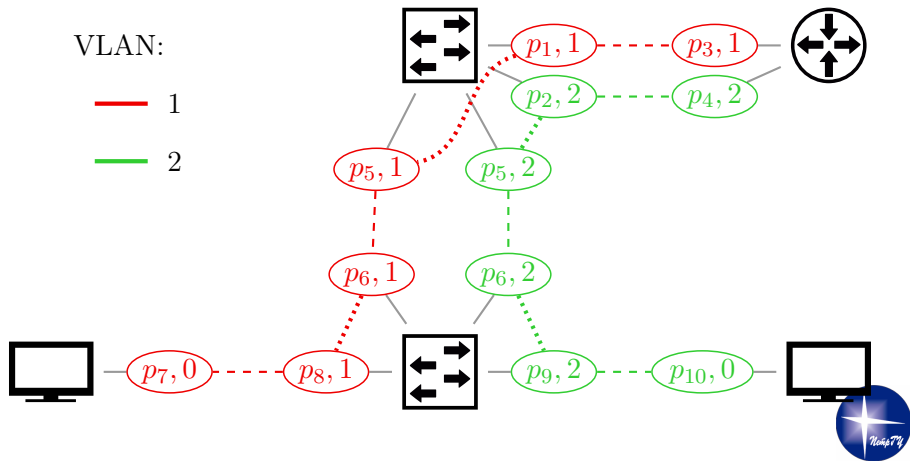
$$V = D \cup I^{(2)}$$

$$E = A^{(2)} \cup F^{(2)} \cup L^{(2)}$$



Модель широковестьательных доменов

Компоненты связности графа $\hat{G}^{(2)} = \langle I^{(2)}, L^{(2)} \cup F^{(2)} \rangle$



Модель сетевого уровня

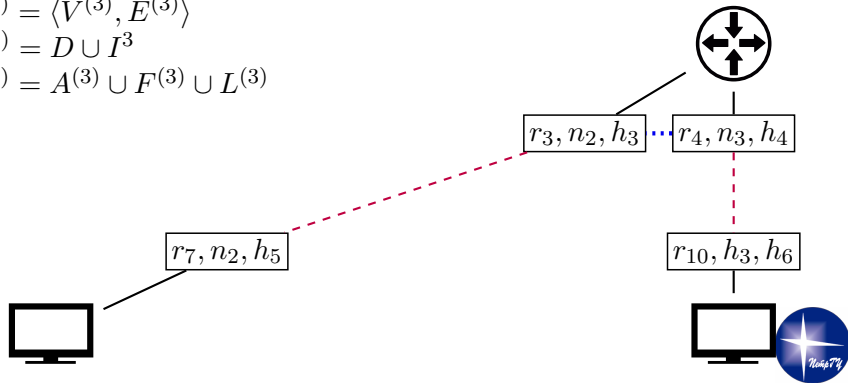
$I^{(3)}$ — множество интерфейсов сетевого уровня;

$A^{(3)}$, $F^{(3)}$, $L^{(3)}$ — рёбра ассоциации, маршрутизации и соединений сетевого уровня;

$$G^{(3)} = \langle V^{(3)}, E^{(3)} \rangle$$

$$V^{(3)} = D \cup I^3$$

$$E^{(3)} = A^{(3)} \cup F^{(3)} \cup L^{(3)}$$

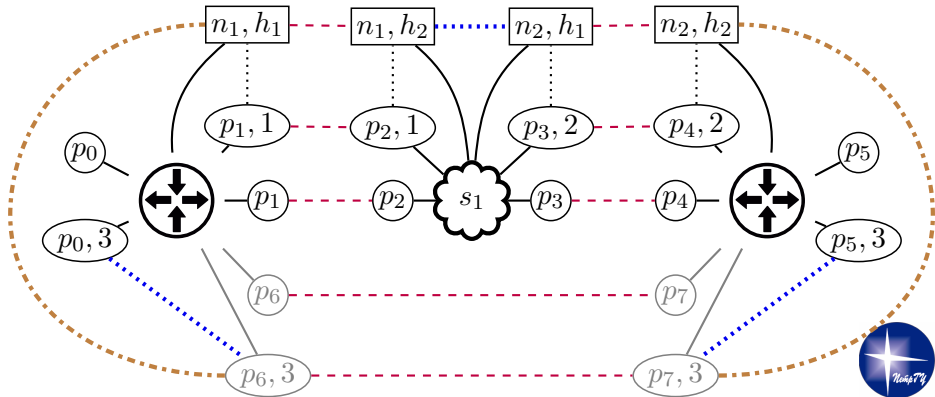


Модель VPN

S — множество сегментов внешних сетей.

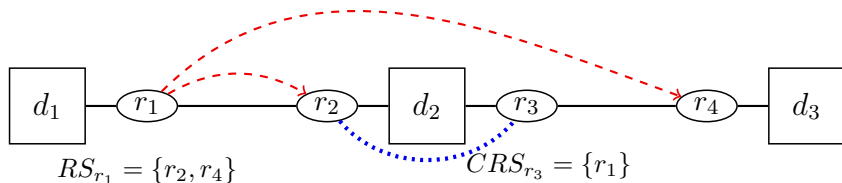
$T^{(2)}, T^{(2)}$ — туннели канального и сетевого уровней

Виртуальные порты и интерфейсы



Множества достижимости канальных интерфейсов

- Интерфейсы достижимы на канальном уровне (К-достижимы) друг от друга, если между ними существует путь по рёбрам канального уровня, в котором первое и последнее рёбра не являются рёбрами коммутации.
- $RS_{r_1} \subseteq I^{(2)}$, все интерфейсы, К-достижимые от r_1 .
- $CRS_r \subseteq I^{(2)}$, интерфейсы, К-достижимые от интерфейсов, в отношении коммутации ($F^{(2)}$) с r .



Абстракция для обобщённой обработки разнородных источников данных.



Новизна предложенной модели

- порты и интерфейсы являются вершинами (упрощение описания множественных соединений и VLAN);
- введено ребро коммутации на канальном уровне (упрощение применения методов теории графов для широковежательных доменов);
- три структурных уровня объединены в одной модели (возможность моделирования межуровневых структур, таких как VPN, возможность анализа межуровневого взаимодействия);
- отражены VPN и агрегирование каналов.



Положения, выносимые на защиту

- 1 Метод математического моделирования структуры сети лПСУ на физическом, канальном и сетевом уровнях включая виртуальные локальные сети, виртуальные частные сети и агрегирование каналов. (глава 2)
- 2 **Численный метод** решения задачи **дополнения** неполных **данных о связях устройств на канальном уровне ЛВС**, использующий построенную математической модели задачи. (глава 2 п. 2.3.2, глава 3 п. 3.3)
- 3 Численные методы автоматизированного описания структуры ЛВС на физическом, канальном и сетевом уровнях с учётом виртуальных локальных сетей, виртуальных частных сетей и агрегирования каналов. (глава 3)
- 4 Комплекс программ для автоматизированного описания структуры ЛВС на основе разработанного математического обеспечения. (глава 4)



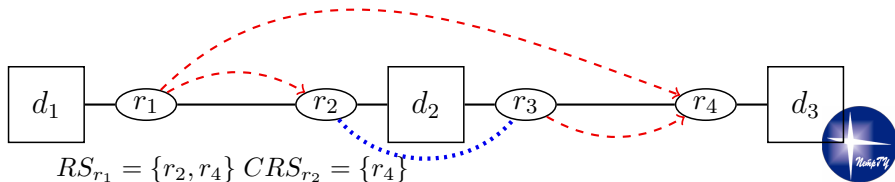
Отношение достижимости на канальном уровне

$\leftrightarrow$ — бинарное симметричное антирефлексивное отношение на множестве интерфейсов $I^{(2)}$.

Теорема

Если канальный интерфейс r_2 К-достижим от интерфейса r_1 , то от r_1 К-достижимы все интерфейсы, К-достижимые от интерфейсов, коммутирующих с r_2 , т. е. $CRS_{r_2} \subset RS_{r_1}$.

Свойство К-транзитивностью отношения К-достижимости:
если $r_1 \leftrightarrow r_2$, $(r_2, r_3) \in F^{(2)}$ и $r_3 \leftrightarrow r_4$, то $r_1 \leftrightarrow r_4$.



Подзадача дополнения неполных данных

Пусть $\leftrightarrow$ — это отношение достижимости для графа G .

Пусть $\leftrightarrow' \subset \leftrightarrow$ — это отношение достижимости, построенное по исходным данным о структуре сети.

Данные полны, если $\leftrightarrow' = \leftrightarrow$.

Степенью полноты данных о K -достижимости назовём число

$$C(\leftrightarrow') = \frac{||\leftrightarrow| - |\leftrightarrow'| ||}{|\leftrightarrow|} \cdot 100\%.$$

Задача:

Имеется граф G' , и отношение $\leftrightarrow'$, полученные по исходным данным о структуре сети.

Нужно построить отношение $\leftrightarrow$, имея G' и $\leftrightarrow'$.



Дополнение данных о достижимости

Алгоритм (1)

(Замыкание К-достижимости относительно К-транзитивности)

- 1 Рассмотреть все интерфейсы $r_i \in \bar{I}^{(2)}$, в начале каждой итерации положить Q как пустую очередь и $Visited = \{r_i\}$;
- 2 добавить в Q все пары $(r_j, 1)$, для которых $(r_i, r_j) \in \leftrightarrow'$;
- 3 пока очередь Q не пуста:
 - 1 взять $(r_j, q) = dequeue(Q)$;
 - 2 поместить r_j в $Visited$;
 - 3 если $q = 1$:
 - 1 если $(r_i, r_j) \notin \leftrightarrow'$, положить (r_i, r_j) в $\leftrightarrow'$;
 - 2 добавить в Q все пары $(r_k, 0)$, для которых $(r_j, r_k) \in F^{(2)}$ и $r_k \notin Visited$;
 - 4 если $q = 0$: добавить в Q все пары $(r_k, 1)$, для которых $(r_j, r_k) \in \leftrightarrow'$ и $r_k \notin Visited$.



Дополнение данных о достижимости

Условие применимости

Теорема: Пусть интерфейсы $I_i^{(2)}$ и $I_j^{(2)}$ соединены друг с другом.

Если изначально $(I_i^{(2)}, I_j^{(2)}) \notin \leftrightarrow'$, то Алгоритм не позволяет определить К-достижимы ли указанные интерфейсы друг от друга.

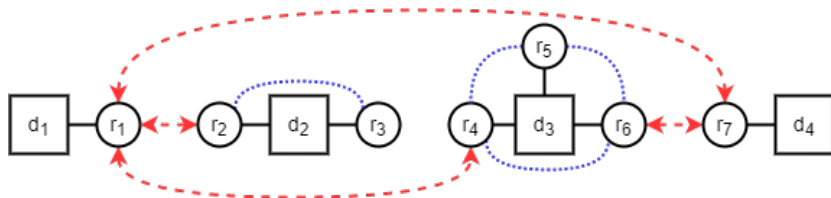
Следствие: Если для любых двух соединённых интерфейсов $I_i^{(2)}$ и $I_j^{(2)}$, изначально $(I_i^{(2)}, I_j^{(2)}) \in \leftrightarrow'$, тогда с помощью Алгоритма возможно построить отношение $\leftrightarrow$ с полными данными о достижимости.

Главное условие: исходные данные должны быть корректны.

Вычислительная сложность составляет $O(|I(2)|^2)$.



Разрешение неоднозначности К-достижимости



Потенциальная достижимость. $(r_1, r_2) \in \leftrightarrow^*$, если:

- $(r_1, r_2) \notin \leftrightarrow$;
- r_1, r_2 не находятся в отношении L с другими интерфейсами;
- $r_1 \in I_{d1}, r_2 \in I_{d2}$ и $d_1 \neq d_2$;
- $RS_{r1} \cap RS_{r2} = \emptyset$;
- $CRS_{r1} \cap CRS_{r2} = \emptyset$;
- $RS_{r1} \cap CRS_{r2} \neq \emptyset$ или $RS_{r2} \cap CRS_{r1} \neq \emptyset$;
- $r_1 \notin CRS_{r2}$ и $r_2 \notin CRS_{r1}$.



Новизна предложенного метода

- формальное **определение задачи** дополнения данных;
- низкая **сложность**: $O(N^2)$;
- простой и явный **критерий применимости**: наличие в данных сведений о достижимости физически соединённых устройств;
- возможность применения в локальных сетях **без ограничения** на структуру и используемые устройства и технологии;
- возможность обработки неоднозначных исходных данных.



Положения, выносимые на защиту

- 1** Метод математического моделирования структуры сети лПСУ на физическом, канальном и сетевом уровнях включая виртуальные локальные сети, виртуальные частные сети и агрегирование каналов. (глава 2)
- 2** Численный метод решения задачи дополнения неполных данных о связях устройств на канальном уровне ЛВС, использующий построенную математической модели задачи. (глава 2 п. 2.3.2, глава 3 п. 3.3)
- 3** Численные методы автоматизированного описания структуры ЛВС на физическом, канальном и сетевом уровнях с учётом виртуальных локальных сетей, виртуальных частных сетей и агрегирования каналов. (глава 3)
- 4** Комплекс программ для автоматизированного описания структуры ЛВС на основе разработанного математического обеспечения. (глава 4)



Численный метод описания структуры сети

Основные шаги — Алгоритм (2)

- 1 Сбор данных от служебных устройств по SNMP;
- 2 построение вершин графа и наполнение множеств достижимости;
- 3 дополнение данных о достижимости;
- 4 построение рёбер графа;
- 5 построение фрагментов, описывающих прозрачные устройства.



Сбор данных и построение вершин графа

- Данные об устройствах и портах: IF-MIB, IP-MIB и др.
- Данные о VLAN: Q-BRIDGE-MIB, VTP-MIB, CISCO-VLAN-MEMBERSHIP-MIB и др.
- Данные о достижимости и соседях: BRIDGE-MIB, CISCO-CDP-MIB, LLDP-MIB, IP-MIB

Построение вершин графа, рёбер ассоциации, коммутации, в том числе для устройств, недоступных по SNMP, наполнение множеств достижимости для построенных интерфейсов.



Построение рёбер графа

Доказанные критерии

Соединение на канальном уровне

Если два интерфейса r_1 и r_2 достижимы друг от друга, и $RS_{r_1} = CRS_{r_2} \cup \{r_2\}$ и $RS_{r_2} = CRS_{r_1} \cup \{r_1\}$, то $(r_1, r_2) \in L^{(2)}$.

Соединение на физическом уровне

Если два канальных интерфейса $r_1 = (u_1, v_1)$ и $r_2 = (u_2, v_2)$ находятся в отношении $L^{(2)}$, то для каждого $p_1 \in u_1$ существует $p_2 \in u_2$ такой, что $(p_1, p_2) \in L^{(1)}$, и наоборот.

Соединение на сетевом уровне

Если для двух сетевых интерфейсов $e_1 = (S_1, n, h_1)$ и $e_2 = (S_2, n, h_2)$ существуют $r_1 \in S_1$ и $r_2 \in S_2$, которые состоят в одном широковещательном домене, то $(e_1, e_2) \in L^{(3)}$.

Построение рёбер графа

Доказанные критерии 2

Коммутация на канальном уровне

Если для устройства $d \in D$ и двух достижимых друг от друга интерфейсов канального уровня r_1 и r_2 выполняется:

- 1** от r_1 достижим $r_3 \in I_d^{(2)}$, от r_2 достижим $r_4 \in I_d^{(2)}$;
- 2** от r_1 и r_2 не достижимы интерфейсы из $I_d^{(2)}$, отличные от r_3 и r_4 соответственно;
- 3** от интерфейсов, коммутирующих с r_1 или r_2 , не достижимы интерфейсы, ассоциированные с d ;

тогда r_3 и r_4 находятся в отношении $F^{(2)}$.



Построение рёбер графа

Доказанные критерии 3

Туннели канального уровня

Пусть $d_1, d_2 \in D$, интерфейс $r_1 \in VI_{d_1}^{(2)}$ находится в отношении $L^{(2)}$ с интерфейсом $r_2 \in VI_{d_2}^{(2)}$ и нет ни одного основанного на одном из них интерфейса сетевого уровня. Если существует единственный интерфейс $e_1 \in RI_{d_1}^{(3)}$ такой, что от него существует путь сетевого уровня до какого-либо интерфейса $e_2 \in RI_{d_2}^{(3)}$, начинающийся с ребра $L^{(3)}$, то r_1 и e_1 находятся в отношении $T^{(2)}$.

В диссертации представлены

Всего 11 критериев,
7 свойств и условий,
9 теорем, лемм и утверждений



Построение рёбер графа

Алгоритм (3)

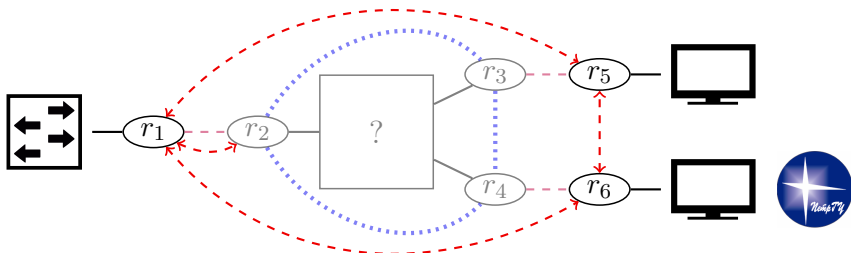
- 1 в начале каждой итерации производить дополнение множеств достижимости (Алгоритм (1));
- 2 рассмотреть ещё не соединённые интерфейсы канального уровня, найти и построить для них рёбра соединения;
- 3 построить рёбра коммутации;
- 4 если было найдено ребро коммутации или соединения, перейти к шагу 1;
- 5 построить рёбра соединения физического и сетевого уровней;



Построение фрагментов прозрачных устройств

Приоритет достижимости

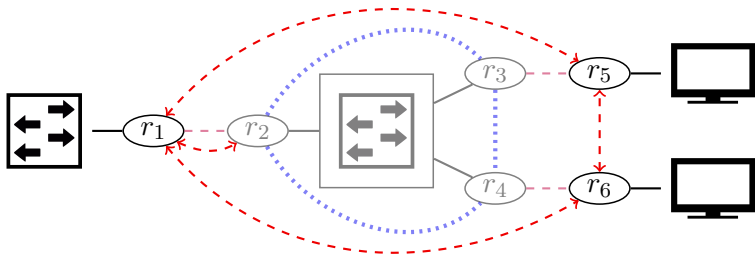
$$PR((r_1, r_2)) = \begin{cases} 0, & \text{источник – правила дополнения} \\ 1, & \text{источник – ARP} \\ 2, & \text{источник – AFT} \\ 3, & \text{источник – CDP} \\ 4, & \text{источник – LLDP} \\ 5, & \text{источник – STP} \end{cases}$$



Построение фрагментов прозрачных устройств

Пример с недоступным по SNMP коммутатором

Если $|RS_{r_1}| > 1$, существует r_2 , для которого $PR(r_2) \geq 3$ и $\forall r \in RS_{r_1} \setminus \{r_2\}$ выполняется $PR(r) < 3$, а также $\forall r \in RS_{r_1}$ выполняется $RS_r = \{r_1\} \cup CRS_{r_1}$, то интерфейс r_1 и все интерфейсы $r \in RS_{r_1} \setminus \{r_2\}$ соединены с пограничным коммутатором.



Оценка сложности и точности

Оценка сложности (Алгоритм (2)): $O(|P| * |I^{(2)}|^5)$ и $\Omega(|I^{(2)}|^3)$.

В реальных сетях с 1000 устройств и 100 VLAN, $|I^{(2)}| \approx 5000$.

Точность обнаружения рёбер на сгенерированных данных, сети размером 40—130 устройств и 1—5 VLAN.

Степень полноты данных	Выполнение критерия полноты	$L^{(1)}$	$L^{(2)}$	$L^{(3)}$
0.1–1	да	1	1	1
0.9	нет	0.89	0.89	0.60
0.8	нет	0.71	0.71	0.41
0.5–0.7	нет	0.49	0.49	0.20



Новизна предложенного метода

- описание структуры трёх уровней сети;
- работа в присутствии VLAN, VPN, агрегированных каналов, циклов, маршрутизаторов не на границе сетей;
- работа при неполных и неоднозначных исходных данных;
- обоснованные критерии построения связей;
- выявление прозрачных служебных устройств.

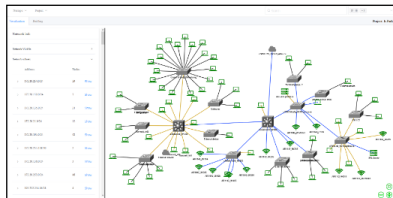


Положения, выносимые на защиту

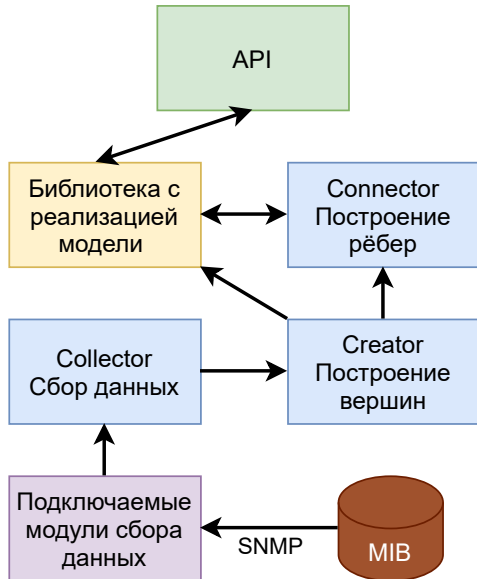
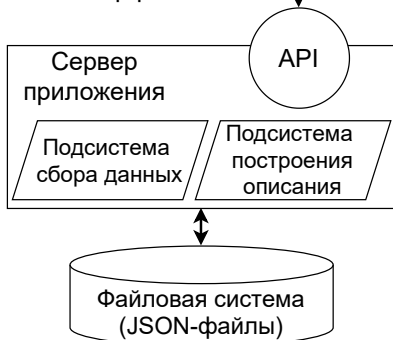
- 1** Метод математического моделирования структуры сети лПСУ на физическом, канальном и сетевом уровнях включая виртуальные локальные сети, виртуальные частные сети и агрегирование каналов. (глава 2)
- 2** Численный метод решения задачи дополнения неполных данных о связях устройств на канальном уровне ЛВС, использующий построенную математической модели задачи. (глава 2 п. 2.3.2, глава 3 п. 3.3)
- 3** Численные методы автоматизированного описания структуры ЛВС на физическом, канальном и сетевом уровнях с учётом виртуальных локальных сетей, виртуальных частных сетей и агрегирования каналов. (глава 3)
- 4** Комплекс программ для автоматизированного описания структуры ЛВС на основе разработанного математического обеспечения. (глава 4)



Архитектура программного комплекса



Веб-интерфейс



Интерфейс программного комплекса

Netopo ▾ Project ▾

Visualization

Building

Search

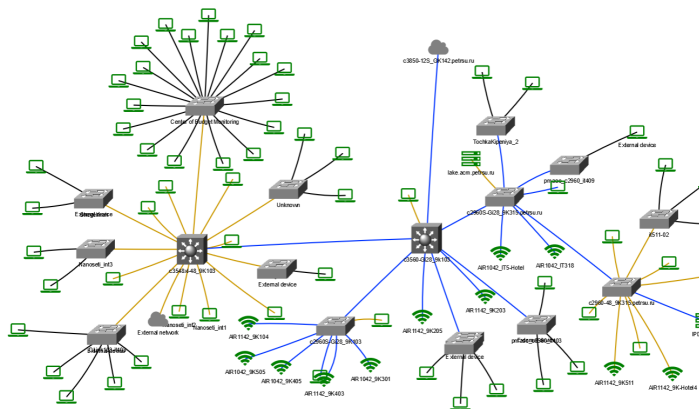
IP +3

Network Info

Network VLANs

Network subnets

Address	Nodes
> 172.20.254.0/24	59 Show
> 172.20.150.0/24	3 Show
> 172.20.135.0/24	24 Show
> 172.20.21.0/24	12 Show
> 172.20.195.0/24	42 Show
> 172.20.255.108/30	2 Show
> 172.20.136.0/24	3 Show
> 172.20.253.0/24	46 Show
> 193.232.254.96/28	4 Show



Основные особенности комплекса и новизна

- **автоматизированное описание** структуры сети;
- описание структуры сети **при неполных исходных данных**;
- учёт структуры **3 уровней** — физического, канального и сетевого;
- система **подключаемых модулей сбора данных** для учёта дополнительных источников данных о сети;
- **выявление** оконечных устройств, прозрачных устройств, мест подключения к внешним сетям;
- **локализация** областей крупных графов при просмотре описания (VLAN, подсети).



Дополнительные возможности комплекса

- автоматизированный **сбор данных** начиная от одного узла;
- **платформонезависимый** веб-сервер с возможностью одновременного доступа нескольких человек;
- **интерактивный** графический интерфейс;
- **поиск** элементов сети, **редактирование** структуры;
- **просмотр** отдельно выбранных **VLAN** в общей структуре;
- **экспорт** в SVG.



Особенности внедрения

- Поверхностное **обследование** локальной вычислительной сети предприятия;
- **Подготовка** служебных сетевых устройств к работе с комплексом: включение SNMP, написание конфигурации с режимами доступа по SNMP;
- Определение наличия **специфичных** для предприятия **источников данных** (например, редкая модель оборудования);
- **Реализация недостающих** или специфичных для предприятия **модулей** сбора данных;
- **Развёртывание** приложения на сервере с веб-доступом (или рабочей станции) и доступом к SNMP-узлам.
- **Тестовое построение** и подбор оптимальной конфигурации.



Конечные пользователи и результаты апробации

Конечные потребители

Отделы сетевого администрирования предприятий, сопровождающих собственную достаточно сложную локальную сеть

Сеть ПетрГУ

930 устройств (Cisco), 2933 портов, 930 соединений, 101 VLAN, 147 IP-подсетей.

Время сбора данных — 11 минут, построения описания — 2 минуты.

Сеть Петрозаводскмаш

Несколько сетей небольших организаций (торговых).

427 устройств (Cisco, HP, Telesis), 1325 портов, 441 соединение, 72 VLAN, 46 IP-подсетей, агрегирование каналов.

Время сбора данных — 20 минут, построения описания — 6 минут.

Сценарии использования и направления развития

Примеры применения в рамках апробации:

- поиск циклов в топологии сети;
- выявление несогласованных служебных сетевых устройств:
 - ▶ в ПетрГУ обнаружено **более 20** бытовых точек доступа Wi-Fi;
- определение мест подключения IP-камер;
- визуальный анализ VLAN;
- помощь в документировании.

Направления развития:

- обновление структуры по частям;
- перестроение в реальном времени;
- углубленный автоматизированный анализ структуры.



Полученные результаты

- 1 Предложен и исследован **метод математического моделирования структуры сети** локального поставщика сетевых услуг на физическом, канальном и сетевом уровнях.
- 2 Построена и исследована **математическая модель задачи дополнения данных** о достижимости на канальном уровне сети.
- 3 Разработан **численный метод решения задачи дополнения данных** о достижимости на канальном уровне сети.
- 4 Разработан и исследован **численный метод автоматизированного описания структуры сети лПСУ** на физическом, канальном и сетевом уровнях.
- 5 Разработан и апробирован **программный комплекс** для построения и просмотра **описания структуры сети** на основе предложенных моделей и методов.



Публикации I

- [1] А. А. Андреев, А. С. Колосов и Ю. А. Богоявленский. “Автоматизация построения графа канального уровня ИКТ-инфраструктуры локального поставщика услуг интернета”. В: *Ученые записки Петровского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки* №2 (147) (2015), с. 97—102. [BAK].
- [2] А. А. Андреев и др. “Обобщенная графовая модель структуры физического, канального и сетевого уровней ИКТ-инфраструктуры локального поставщика сетевых услуг”. В: *Программная инженерия* 7.9 (2016), с. 400—407. [BAK].
- [3] А. Andreev и др. “A Graph Model of the Topology of Physical, Link and Network Layers of an Enterprise Network”. Англ. В: *Proceedings of the 19th Conference of Open Innovations Association FRUCT* (2016), с. 3—9. [Scopus].
- [4] А. А. Андреев. “Обобщенная графовая модель виртуальных частных сетей в коммуникационной инфраструктуры локального поставщика сетевых услуг”. В: *Программная инженерия* 7.6 (2017), с. 243—249. [BAK].
- [5] А. Andreev и I. Bogoiavlenskii. “An Algorithm for Building an Enterprise Network Topology Using Widespread Data Sources”. Англ. В: *Proceedings of the 21th Conference of Open Innovations Association FRUCT* (2017), с. 34—43. [Scopus].
- [6] А. Andreev, A. Shabaev и I. Bogoiavlenskii. “Network Topology Discovery: a Problem of Incomplete Data Improvement”. Англ. В: *Proceedings of the 24th Conference of Open Innovations Association FRUCT* (2019), с. 10—16. [WoS, Scopus].
- [7] Ю. А. Андреев А. А. and Богоявленский. “Построение графа ИКТ-инфраструктуры предприятия на канальном уровне с учетом виртуальных локальных сетей”. В: *Технологии Microsoft в теории и практике программирования (материалы учебно-практической конференции школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Западного федерального округа)*. 2014, с. 16—18.



Публикации II

- [8] А. А. Андреев. “Комплексный алгоритм построения графа топологии канального уровня локального поставщика сетевых услуг”. В: *Сборник докладов 66-й Всероссийской научной конференции обучающихся и молодых ученых*. 2014, с. 145—150.
- [9] А. А. Андреев и Ю. А. Колосов А. С. and Богоявленский. “Комплексный алгоритм построения графа ИКТ-инфраструктуры локального поставщика сетевых услуг”. В: *Труды XXI Всероссийской научно-методической конференции Телематика '2014*. 2014, с. 144—145.
- [10] А. А. Андреев и Ю. А. Колосов А. С. and Богоявленский. “Модель ИКТ-инфраструктуры поставщика сетевых услуг для автоматизированного построения графа сети”. В: *Современные технологии в теории и практике программирования (материалы научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых)*. 2015, с. 12—13.
- [11] А. А. Андреев. “Методы тестирования подсистемы построения графа канального и сетевого уровней ИКТ-инфраструктуры локального поставщика сетевых услуг”. В: *Научно-исследовательская работа обучающихся и молодых ученых. Материалы 67-й Всероссийской научной конференции обучающихся и молодых ученых*. 2015, с. 32—34.
- [12] А. А. Андреев. “Модель физического, канального и сетевого уровней ИКТ-инфраструктуры локального поставщика сетевых услуг”. В: *Научно-исследовательская работа обучающихся и молодых ученых. Материалы 68-й Всероссийской научной конференции обучающихся и молодых ученых*. 2016, с. 347—350.
- [13] А. А. Андреев. “Обобщенная графовая модель виртуальных частных сетей в ИКТ-инфраструктуре локального поставщика сетевых услуг”. В: *Научно-исследовательская работа обучающихся и молодых ученых. Материалы Всероссийской научной конференции обучающихся и молодых ученых*. 2017, с. 34



Акты о внедрении и свидетельства о регистрации



(Свидетельства)

(Акты)

