APPLIED
RESEARCH
CENTER FOR
COMPUTER
NETWORKS

Системы моделирования компьютерных сетей

Доп. главы Компьютерных сетей и телекоммуникации

к. ф.-м. н. Антоненко В.А.

План лекции

1. Методы моделирования
2. Имитационное моделирование систем связи
3. Системы прототипирования сети
4. Система NPS
5. Основы работы с Mininet
6. Основы работы NPS

Методы моделирования

Модель – сущность/объект, который отображает процессы, протекающие в реальных системах с помощью математических или натурных средств.

Отражение процессов осуществляется на основе оценки характеристик (зависимостей) или параметров процессов моделируемых систем

Основные условия выбора метода

- Постановка задачи
- Составом, характером и объемом исходных данных
- Временем на решение исследовательской задачи

Методы моделирования

- Моделирование – основной метод исследования телекоммуникационных сетей
- Методы моделирования
  - Натурного или физического
  - Аналитического моделирования
  - Имитационного моделирования
  - Комбинированные методы моделирования

Методы моделирования

Натурное (физическое) моделирование

- ❖ Измерение характеристик осуществляется на исследуемых системах в реальном времени (проведение экспериментов)
- ❖ Данные исследователь получает ведя наблюдение за процессами в реальной системе

- Достоинства
  - Высокая адекватность модели реальной системе
  - Высокая точность результатов
- Недостатки
  - Высокая стоимость создания модели
  - Большие временные затраты
  - Необходимость доработки отдельных узлов реально системы для проведения натурных экспериментов

Пример: исследование надежностных характеристик сетей оператора связи

Методы моделирования

Аналитическое моделирование

- Модель представляется совокупностью аналитических выражений, которые отражают функциональные зависимости между параметрами реальной системы в процессе ее работы
- Аналитические модели применяются для относительно простых систем, для исследования характеристик которых не требуется высока точность

- Достоинства
  - Простота и низкая стоимость модели
  - Возможность быстро получить численные результаты
- Недостатки
  - Большое число допущений и ограничений
  - Не высокая точность результатов
  - Соответствие результатов определенным условиям
  - Большая сложность аналитического описания функциональных зависимостей

Методы моделирования

Имитационное моделирование

- Имитационное моделирование — это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью с достаточной точностью описывающей реальную систему и с ней проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация — это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте).
- Имитационное моделирование — это метод математического моделирования.

Существует класс объектов, для которых по различным причинам, не разработаны аналитические модели либо не разработаны аналитические методы решения полученной модели. В таких случаях математическая модель заменяется имитатором или имитационной моделью.

Методы моделирования

- Достоинства имитационного моделирования
  - Высокая адекватность между физической сущностью описываемого процесса и его моделью
  - Возможность описать сложную систему на достаточно высоком уровне детализации
  - Значительно большие охват исследования, чем аналитическое моделирование
  - Отсутствие ограничений на зависимости между параметрами модели
  - Возможность оценки функционирования системы не только в стационарных состояниях, но и в переходных процессах (режимах)
  - Получение большого числа данных об исследуемом объекте (закон распределения случайных величин, числовые значения абсолютные и относительные, и многое другое)
  - Наиболее рациональное отношение «результат – затраты» по отношению к аналитическому и физическому моделированию

Методы моделирования

- Недостатки имитационного моделирования
  - Относительно большая сложность создания модели
  - Необходимость высокой квалификации исследователя для написания модели
  - Необходимость проведения верификации и валидации данных моделирования
    - **Верификация** (от лат. *verus* — «истинный» и *facere* — «делать») — это подтверждение соответствия конечного продукта предопределённым эталонным требованиям.
    - ***Валидация*** (англ. *Validation*) ***- п****одтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения,* точно и в полном объёме предопределены, а цель достигнута.
  - Индивидуальность реализации. Для широкого применения моделью можно воспользоваться лишь при детальном описании ее построения

Методы моделирования

Комбинированные методы моделирования

- Модель представляется в комбинации методов моделирования
- Наиболее широко применяются имитационно-аналитические модели
- Степень применения методов моделирования определяет исследователь, исходя из поставленных задач, имеющихся ресурсов (знаний, ноутбука, Hadoop-кластера) и времени на проведение исследовательской работы (курсовик, диссертация…)

Имитационное моделирование систем связи

Виды имитационного моделирования

Системная динамика – парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере.

По- сути, такой вид моделирования более всех других парадигм помогает понять суть происходящего выявления причинно-следственных связей между объектами и явлениями. С помощью системной динамики строят модели бизнес-процессов, развития города, модели производства, динамики популяции, экологии и развития эпидемии. Метод основан Форрестером в 1950 годах.

Имитационное моделирование систем связи

Виды имитационного моделирования

Агентное моделирование – относительно новое (1990е-2000е гг.) направление в имитационном моделировании, которое используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а наоборот. Когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы.

Цель агентных моделей – получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе.

Агент – некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, а также самостоятельно изменяться.

Имитационное моделирование систем связи

Виды имитационного моделирования

- Дискретно-событийное моделирование – подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы, такие как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие.
- Дискретно-событийное моделирование наиболее развито и имеет огромную сферу приложений – от логистики и **систем массового обслуживания** до транспортных и производственных систем.
- Этот вид моделирования наиболее подходит для моделирования процессов в телекоммуникационных сетях
- Основан Джеффри Гордоном в 1960х годах.

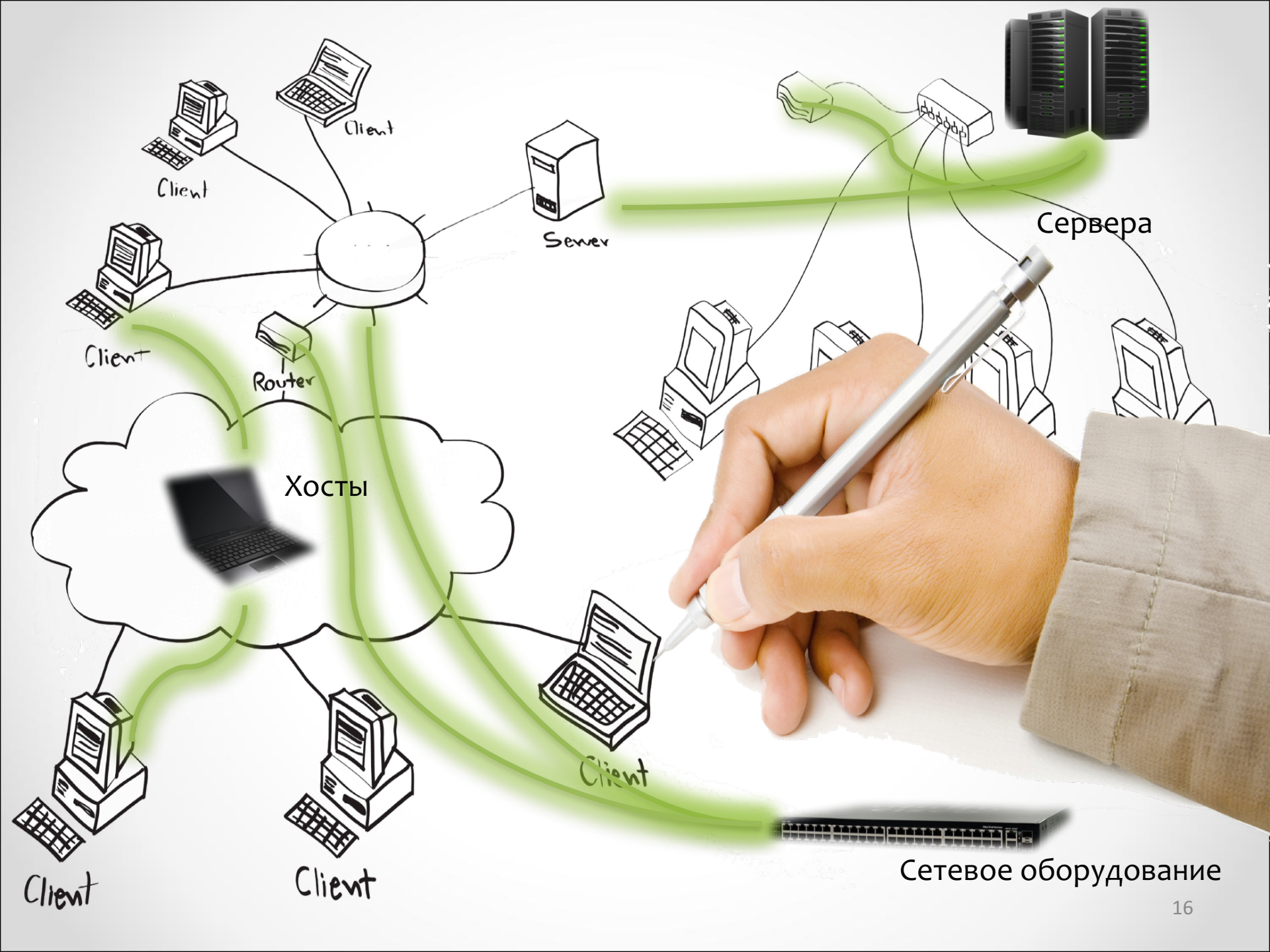
Имитационное моделирование систем связи

Для построения имитационных моделей используются:

- Специальные системы моделирования
- Специальные языки моделирования (общего применения и проблемно-ориентировнные)
  - GPSS/PC, GPSS/H, GPSS World, Object GPSS, Arena, SimProcess, Enterprise Dynamics, Auto-Mod, SIMPAS и др.
- Универсальные языки моделирования
  - PASCAL, СИ

Сущ[illegible] СИМ

Требования	SIMULA	GSPP	NS-2	NS-3	OPNET	OMnet++	Anylogic
различные уровни детализации	+	+	-	-	-	-	+
графический режим	-	-	+	+	+	+	+
представления работы ПО сети	-/+	-/+	+/-	+/-	-/+	-/+	-
отображение процесса моделирования	-	-	+	+	+	-	+
накопление данных по требованию	+	+	-	-	+	-	-
распределенное моделирование	-/+	-/+	-	-	-	-	-
описание процесса обработки PDU	+/-	+/-	+	+	+	+	-
избегание процессов идентификации и калибровки	-	-	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+
моделирование сетей размера ГКС	-/+	-/+	-	-	-	-	-


Client
Client
Client
Server
Router
Client
Client
Client
Сервера
Хосты
Сетевое оборудование

Linux LXC Контейнеры

– Использование Cgroups для изоляции ресурсов
(CPU, memory, block I/O, network, и т.д.)

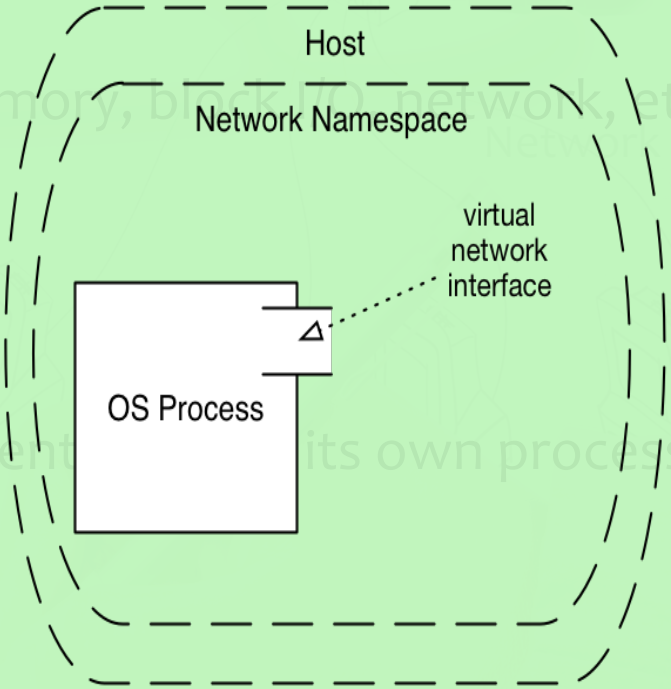
– LXC предоставляет виртуальное окружение, которое имеет собственное пространство имен, как для процесса операционной системы, так и для сети

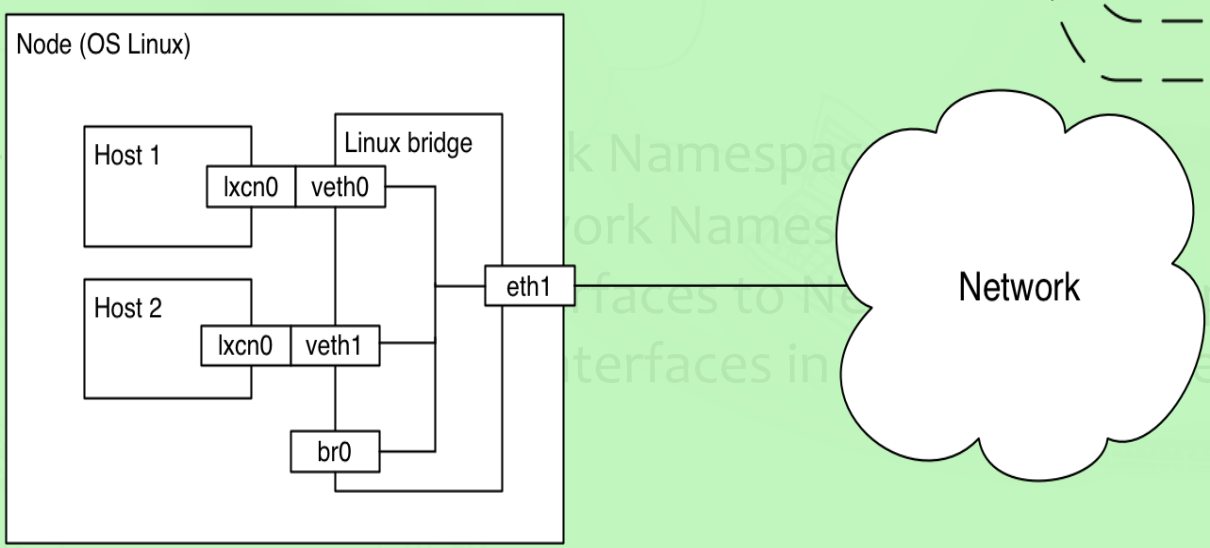
– Используемые операции с сетевым пространством имен:

1. Создание сетевого пространства имен
2. Ассоциирование интерфейса с сетевым пространством имен
3. Конфигурирование интерфейса в сетевом пространстве имен

Linux LXC Контейнеры

Что есть “Хост”?

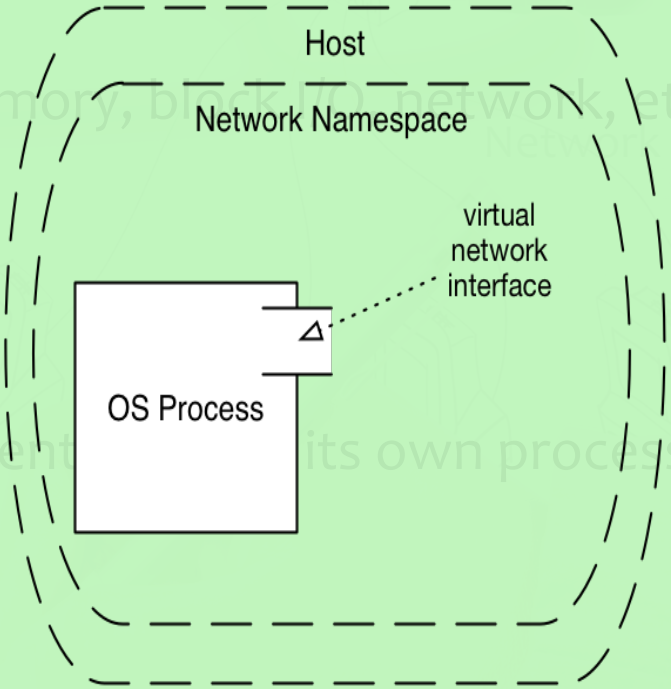


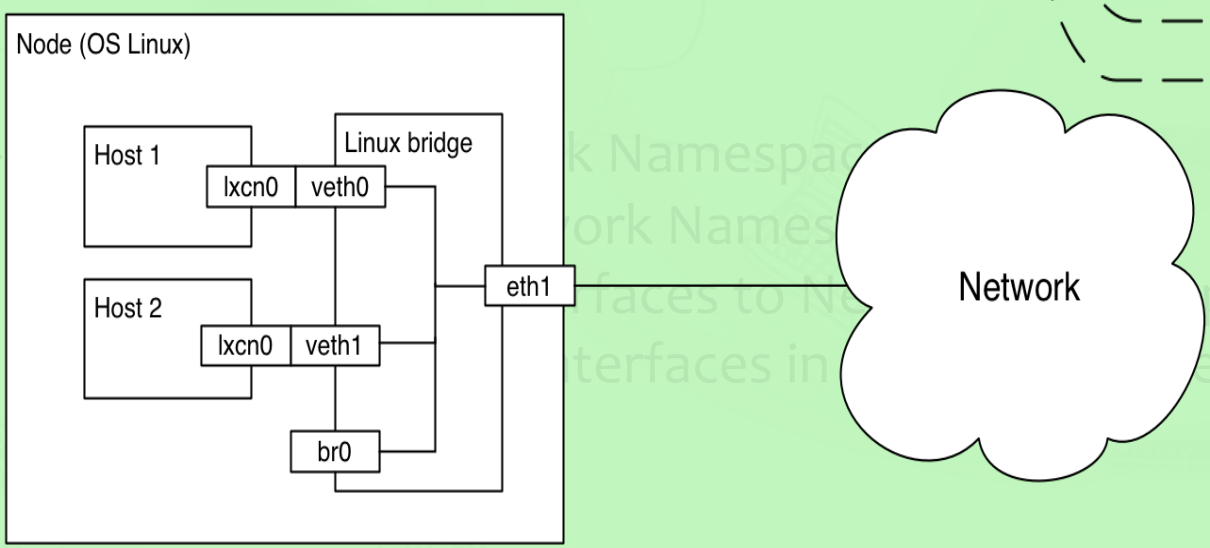


Что есть “Сеть”?

Linux LXC Контейнеры

Что есть “Хост”?





Что есть “Сеть”?

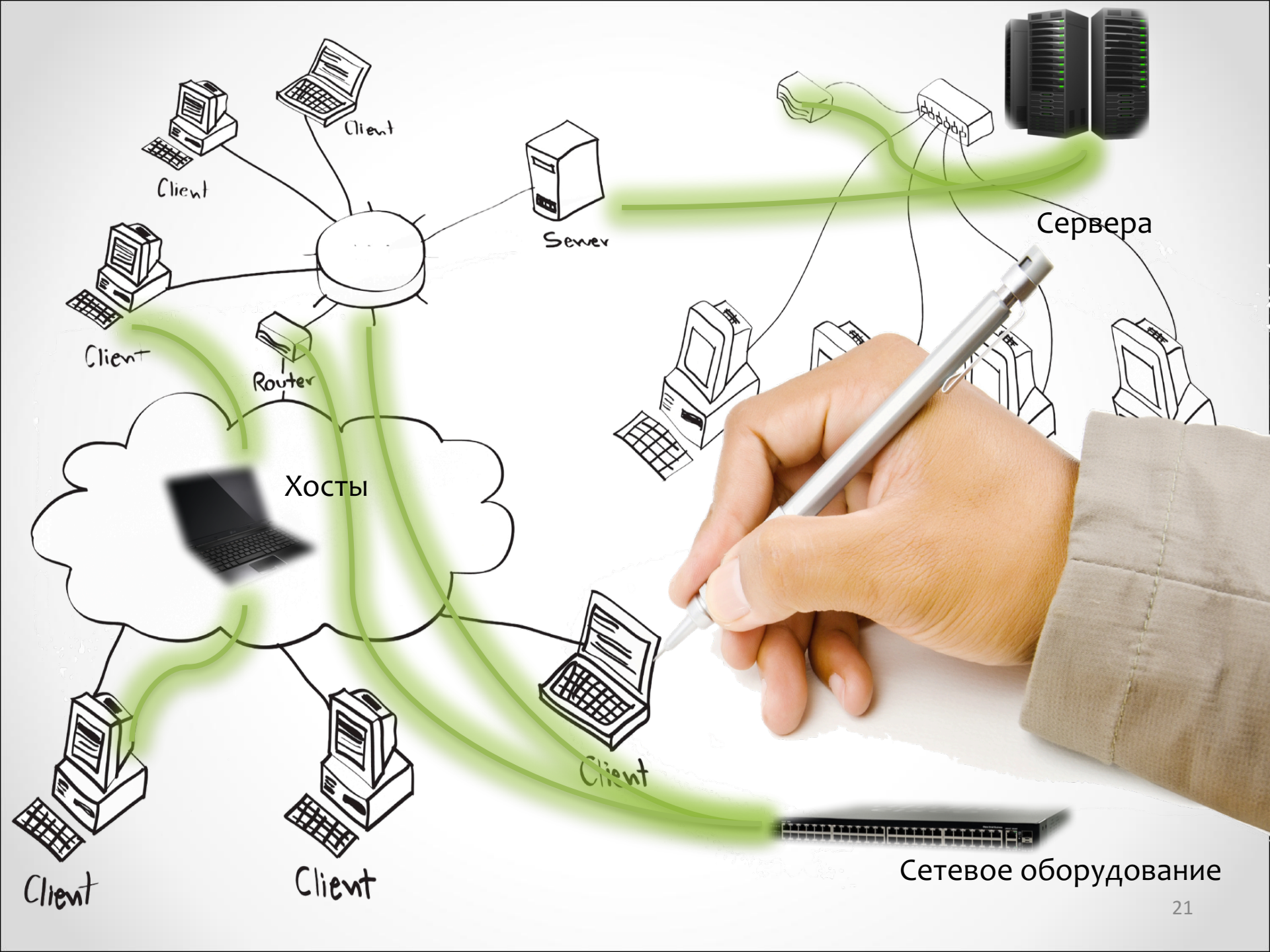
Linux LXC Контейнеры

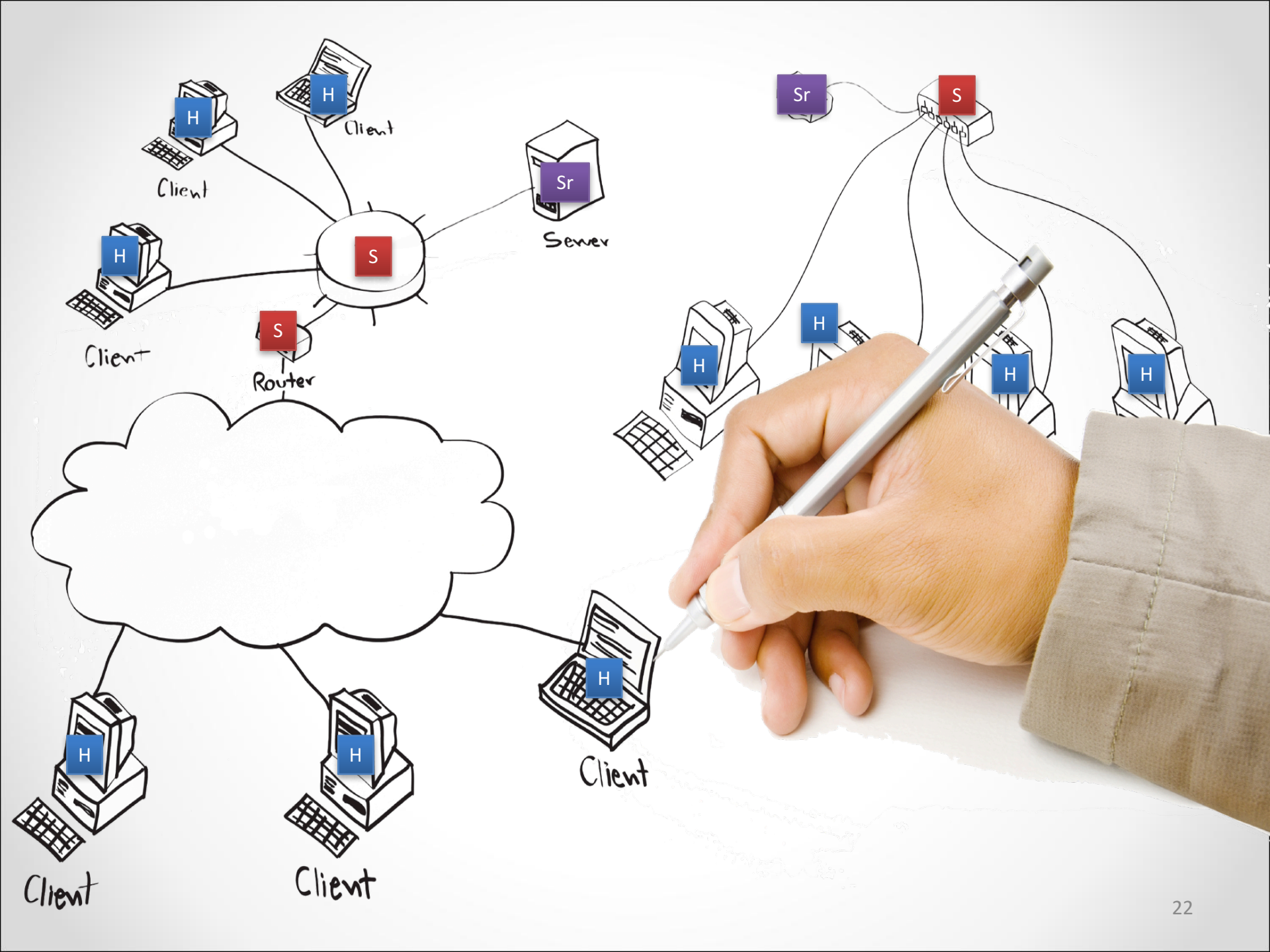
– Использование Cgroups для изоляции ресурсов
(CPU, memory, block I/O, network, и т.д.)

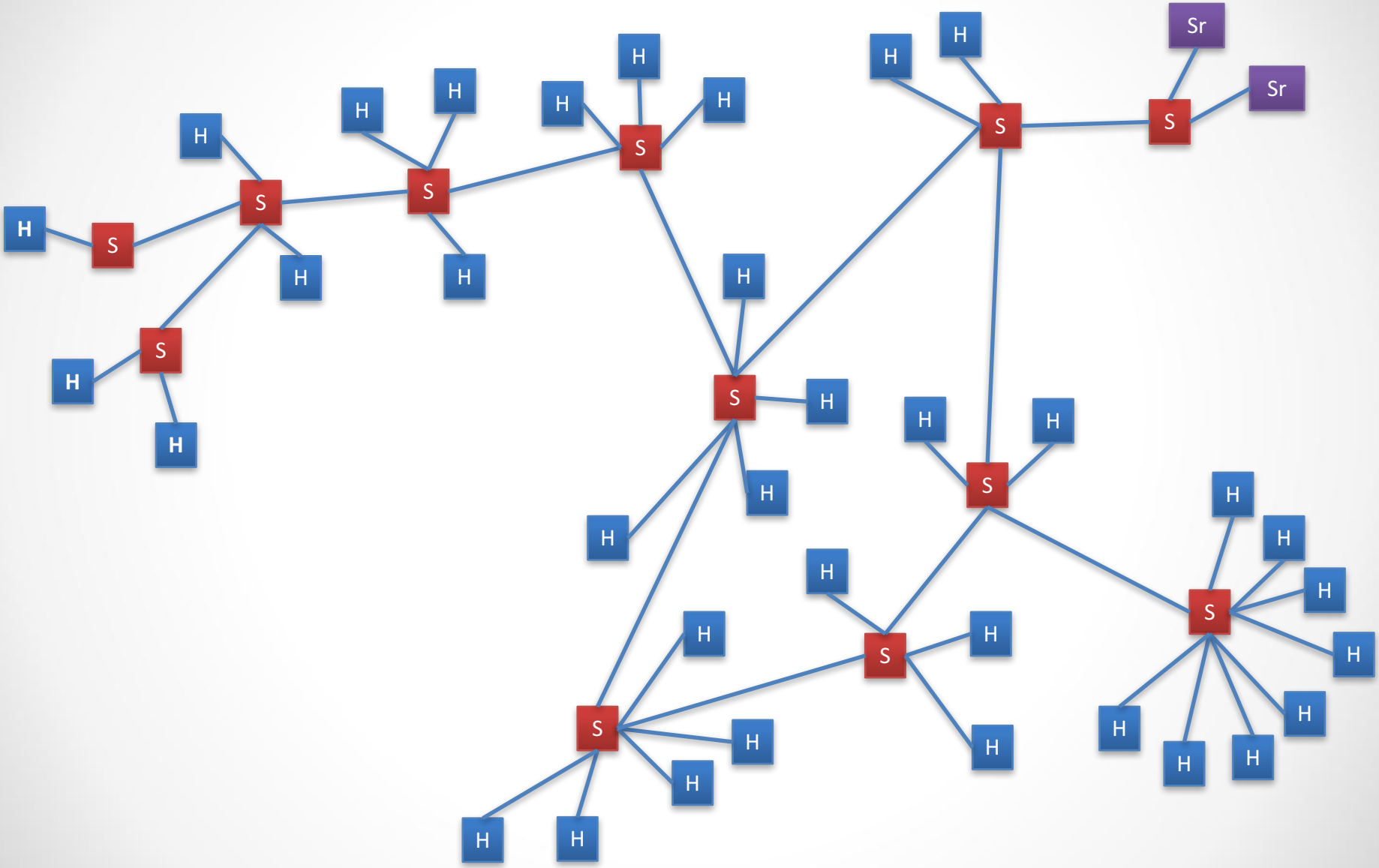
– LXC предоставляет виртуальное окружение, которое имеет собственное пространство имен, как для процесса операционной системы, так и для сети

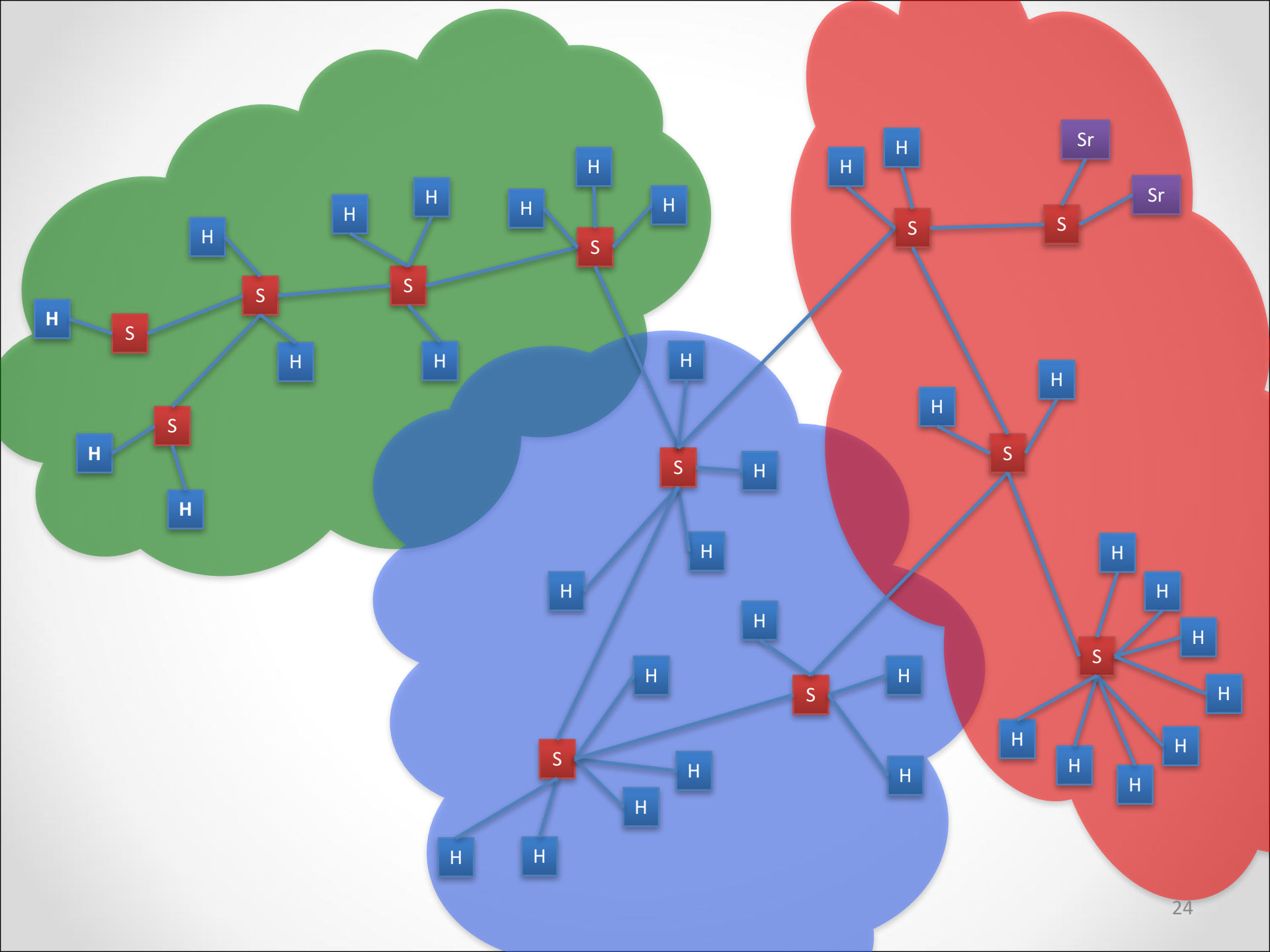
Используемые операции с сетевым пространством имен:

1. Создание сетевого пространства имен
2. Ассоциирование интерфейса с сетевым пространством имен
3. Конфигурирование интерфейса в сетевом пространстве имен


Client
Client
Client
Server
Router
Client
Client
Client
Client
Сервера
Хосты
Сетевое оборудование


H
Client
H
Client
H
Client
S
Sr
Server
S
Router
Sr
S
H
H
H
H
H
Client
H
Client
H
Client


H
S
Sr


H
S
Sr

Работа с Mininet

Создание сети

sudo mn --switch ovsk --controller ref --topo tree,depth=2,fanout=8 --test pingall

Взаимодествие с сетью

- *mininet> h2 ping h3*

- *mininet> h2 python -m SimpleHTTPServer 80 >& /tmp/http.log &*
- *mininet> h3 wget -O - h2*

Описание сети

```
from mininet.net import Mininet
from mininet.topolib import TreeTopo
from mininet.node import OVSController

tree4 = TreeTopo(depth=2,fanout=2)
net = Mininet(topo=tree4, controller = OVSController)
net.start()
h1, h4 = net.hosts[0], net.hosts[3]
print h1.cmd('ping -c1 %s' % h4.IP())
net.stop()
```

Общий доступ к сети

```
import re
def checkIntf( intf ):
	"Make sure intf exists and is not configured."
	if ( ' %s:' % intf ) not in quietRun( 'ip link show' ):
		error( 'Error:', intf, 'does not exist!\n' )
		exit( 1 )
	ips = re.findall( r'\d+\.\d+\.\d+\.\d+', quietRun( 'ifconfig '
+ intf ) )
	if ips:
		error( 'Error:', intf, 'has an IP address,' 'and is
probably in use!\n' )
		exit( 1 )
```

Запуск на «Железе»

```
if __name__ == '__main__':
        setLogLevel( 'info' )
        # try to get hw intf from the command line; by default, use eth1
        intfName = sys.argv[ 1 ] if len( sys.argv ) > 1 else 'eth1'
        info( '*** Connecting to hw intf: %s' % intfName )
        info( '*** Checking', intfName, '\n' )
        checkIntf( intfName )
        info( '*** Creating network\n' )
        net = Mininet( topo=TreeTopo( depth=1, fanout=2 ) )
        switch = net.switches[ 0 ]
        info( '*** Adding hardware interface', intfName, 'to switch', switch.name, '\n' )
        _intf = Intf( intfName, node=switch )
        info( '*** Note: you may need to reconfigure the interfaces for ' 'the Mininet hosts:\n',
net.hosts, '\n' )
        net.start()
        CLI( net )
        net.stop()
```

Команды Mininet CLI

- *Display help:*
  - *mininet> help*
- *Display nodes:*
  - *mininet> nodes*
- *Display links:*
  - *mininet> net*
- *Dump information about all nodes:*
  - *mininet> dump*

Сетевые настройки

- *mininet> h1 ifconfig -a*
- *mininet> s1 ifconfig -a*

Изменение размера и типа топологии сети

- Запусити тестовый пример:
  - *$ sudo mn --test pingall --topo single,3*

- Запустить тестовый пример с линейной топологией (где к каждому коммутатору присоединен один хост, и все они соединены между собой в линию):
  - *$ sudo mn --test pingall --topo linear,4*

Описание канала

$ sudo mn --link tc,bw=10,delay=10ms

mininet> iperf

...

mininet> h1 ping -c10 h2

Создание своих топологий

```
from mininet.topo import Topo
class MyTopo( Topo ):
        "Simple topology example."
        def __init__( self ):
                "Create custom topo."
                # Initialize topology
                Topo.__init__( self ) # Add hosts and switches
                leftHost = self.addHost( 'h1' )
                rightHost = self.addHost( 'h2' )
                leftSwitch = self.addSwitch( 's3' )
                rightSwitch = self.addSwitch( 's4' )
                # Add links
                self.addLink( leftHost, leftSwitch )
                self.addLink( leftSwitch, rightSwitch )
                self.addLink( rightSwitch, rightHost )
topos = { 'mytopo': ( lambda: MyTopo() ) }
```

```
$ sudo mn --custom ~/mininet/custom/topo-2sw-2host.py --topo mytopo --test pingall
```

ID == MAC

```
$ sudo mn
...
mininet> h1 ifconfig
h1-eth0 Link encap:Ethernet HWaddr f6:9d:5a:7f:41:42
                    inet addr:10.0.0.1 Bcast:10.255.255.255
Mask:255.0.0.0
                    UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500
Metric:1
                    RX packets:6 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
                    TX packets:6 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
                    collisions:0 txqueuelen:1000 RX bytes:392 (392.0 B)
                    TX bytes:392 (392.0 B)
mininet> exit
```

ID == MAC

```
$ sudo mn --mac
...
mininet> h1 ifconfig
h1-eth0 Link encap:Ethernet HWaddr 00:00:00:00:00:01
                    inet addr:10.0.0.1 Bcast:10.255.255.255
Mask:255.0.0.0
                    UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500
Metric:1
                    RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
                    TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
                    collisions:0 txqueuelen:1000 RX bytes:0 (0.0 B)
                    TX bytes:0 (0.0 B)
mininet> exit
```

XTerm

- Для запуска Xterm введите команды:
  - *$ sudo mn –x*
  - *mininet> xterm h1*

Интерпретатор языка Python

- At the Mininet CLI, run:
  - *mininet> py 'hello ' + 'world'*
- Print the accessible local variables:
  - *mininet> py locals()*
- Next, see the methods and properties available for a node, using the dir() function:
  - *mininet> py dir(s1)*
- You can read the on-line documentation for methods available on a node by using the help() function:
  - *mininet> py help(h1) (Press "q" to quit reading the documentation.)*
- You can also evaluate methods of variables:
  - *mininet> py h1.IP()*

Вкл\выкл канала сети

- *mininet> link s1 h1 down*

- *mininet> link s1 h1 up*

Использование удаленного контроллера

- *$ sudo mn --controller=remote,ip=[controller IP],port=[controller listening port]*

Моделирование больших сетей

Основ[illegible]тия

- **Глобальная компьютерная сеть (ГКС)** – сеть, состоящая не менее чем из 10^5 узлов.

- **Узел сети** – точка в сети, имеющая уникальный сетевой адрес. Примеры узла:
  - Хост
  - Сетевое устройство

- **Хост** – потребитель сетевого сервиса ГКС.

Основ[illegible]тия

- Свойства ГКС:
  - сеть разделена на домены
  - домены связаны между собой каналами «точка-точка»

- **Сетевое приложение** – распределенная система, разные части которой обмениваются между собой данными.

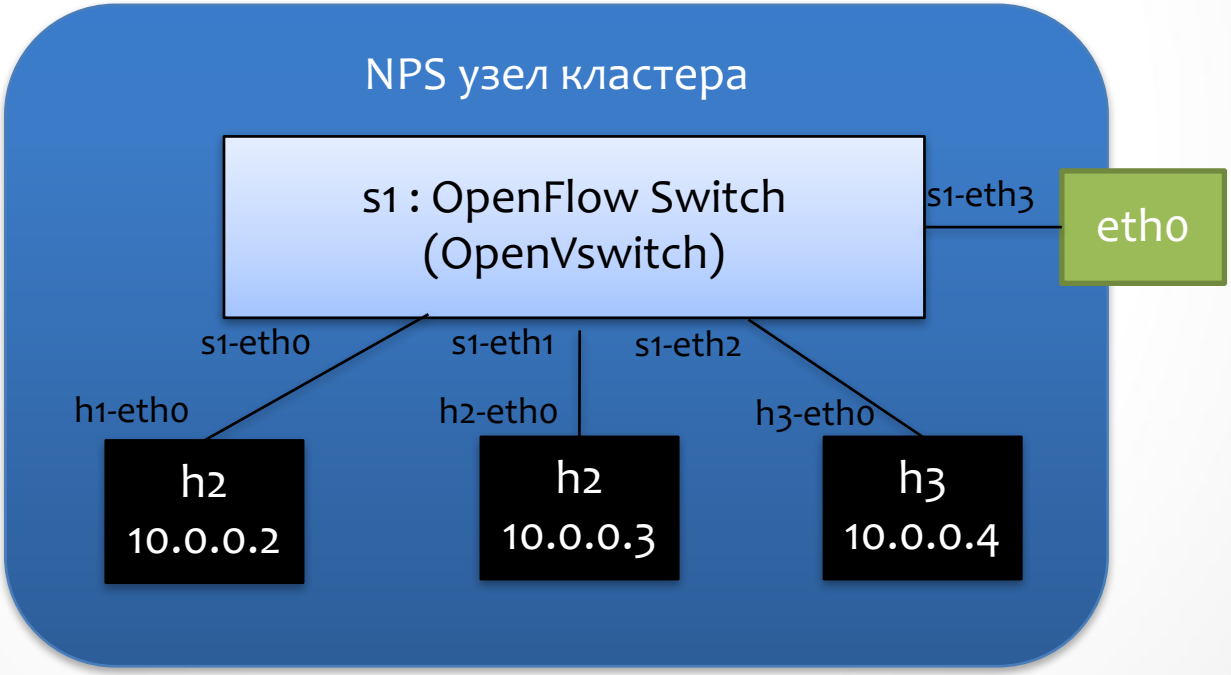
- **Трафик сети** – потоки данных между сетевыми приложениями.

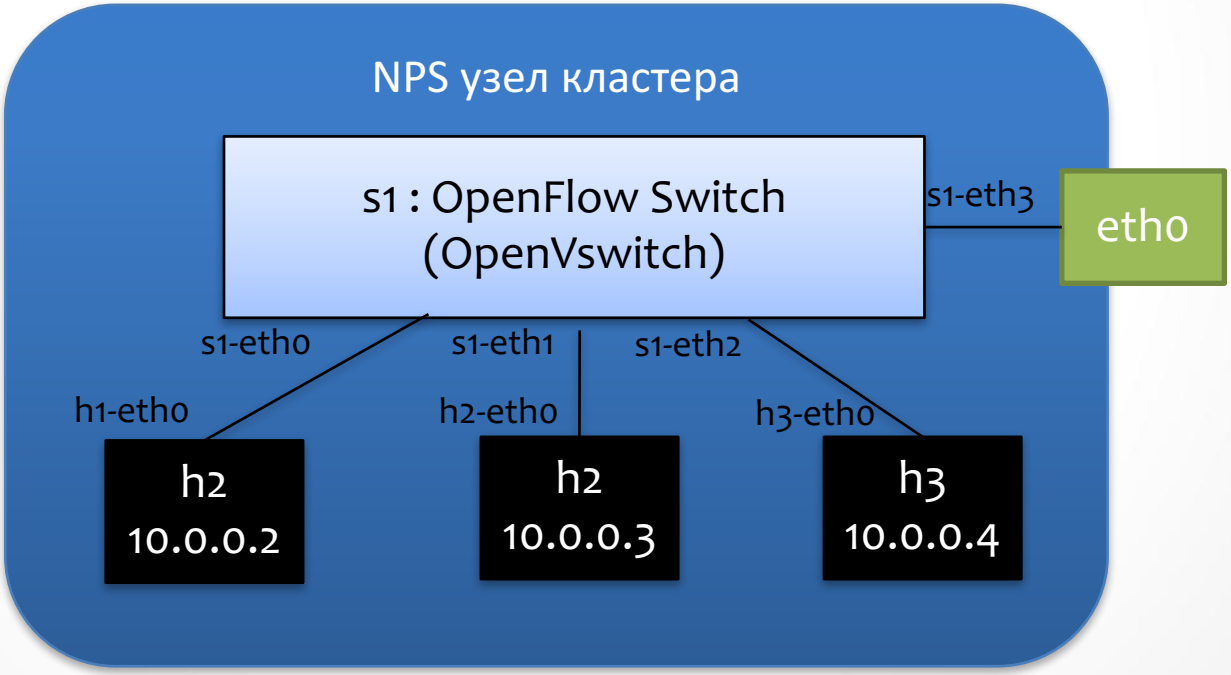
Основ[illegible]тия

- **Функционирование ГКС** – процесс обработки и передачи сетевого трафика между узлами сети.

- **Имитационная модель (ИМ) ГКС** – это математическая модель ГКС и ее реализация в вычислительной среде.

- **Точность ИМ ГКС (неформально)** – совпадение моделируемых процессов обработки и передачи сетевого трафика между узлами в заданной топологии с процессами, происходящими в реальной сети.


NPS узел кластера
s1 : OpenFlow Switch
(OpenVswitch)
s1-eth3
eth0
s1-eth0
s1-eth1
s1-eth2
h1-eth0
h2-eth0
h3-eth0
h2
10.0.0.2
h2
10.0.0.3
h3
10.0.0.4


NPS узел кластера
s1 : OpenFlow Switch
(OpenVswitch)
s1-eth3
eth0
s1-eth0
s1-eth1
s1-eth2
h1-eth0
h2-eth0
h3-eth0
h2
10.0.0.2
h2
10.0.0.3
h3
10.0.0.4

Контроллер
(SDN)

NPS Консоль Управления

SSH SSH SSH SSH SSH SSH

NPS узел кластера

NPS узел кластера

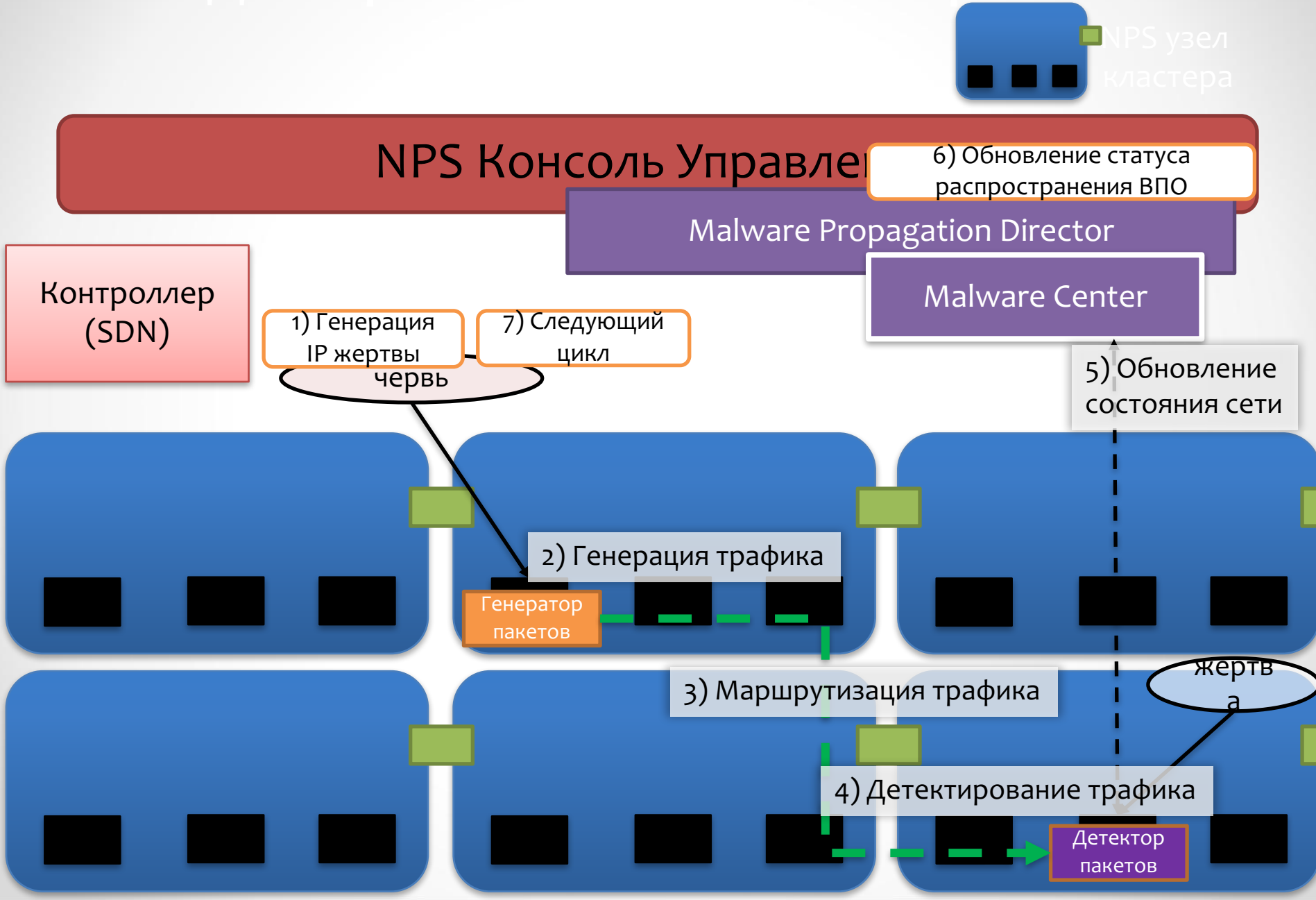
NPS узел кластера

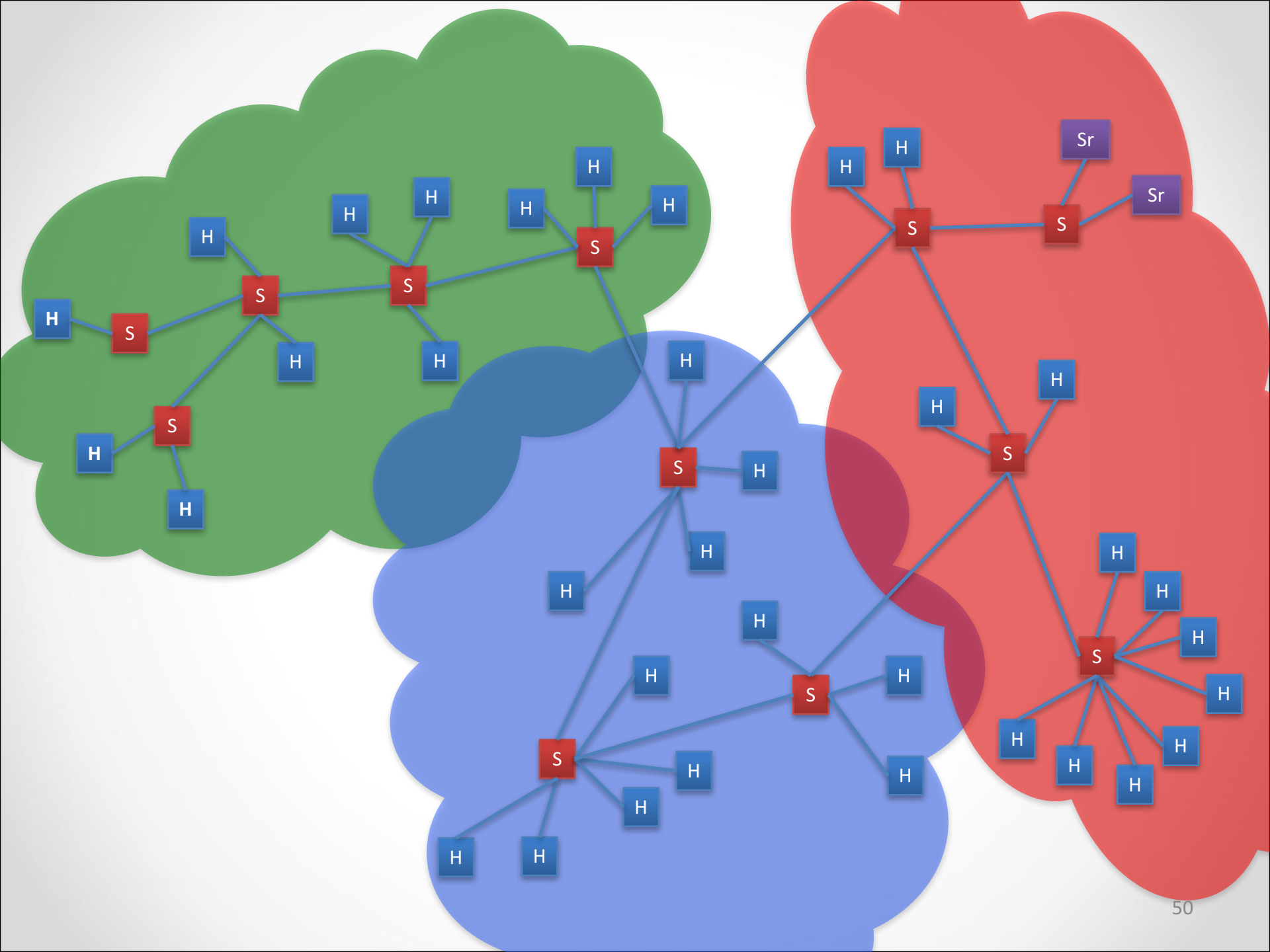
NPS узел кластера

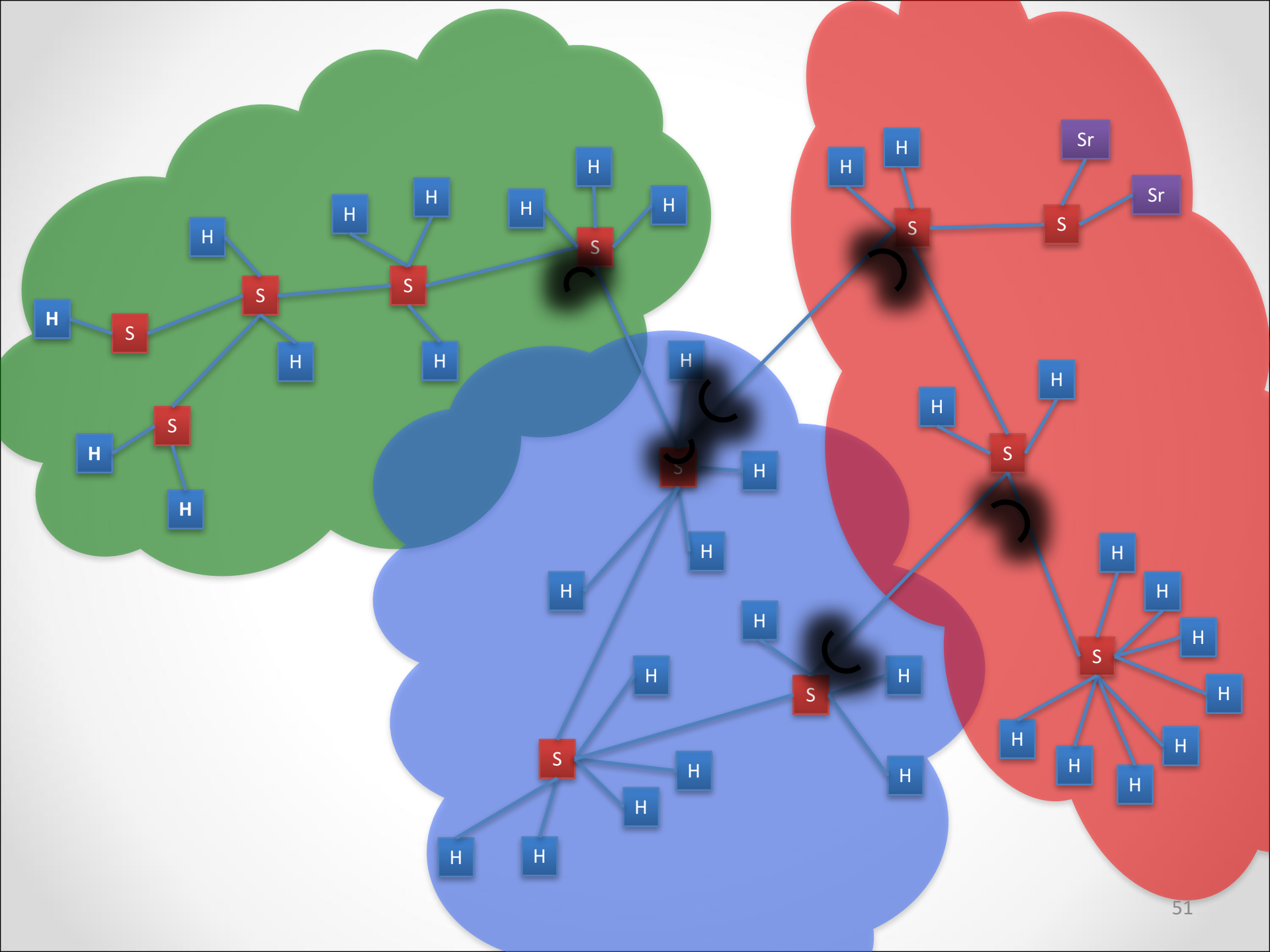
NPS узел кластера

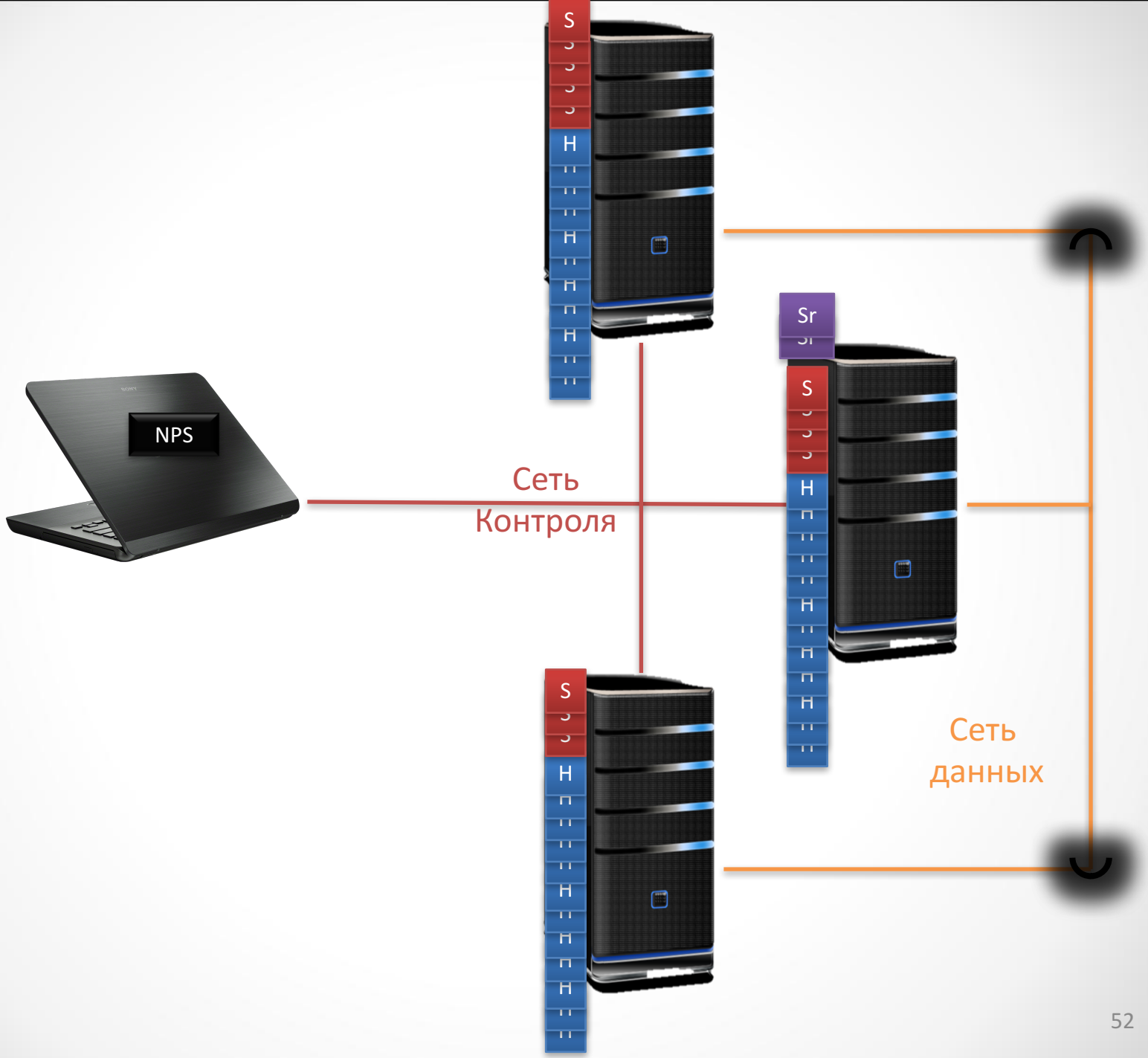
NPS узел кластера

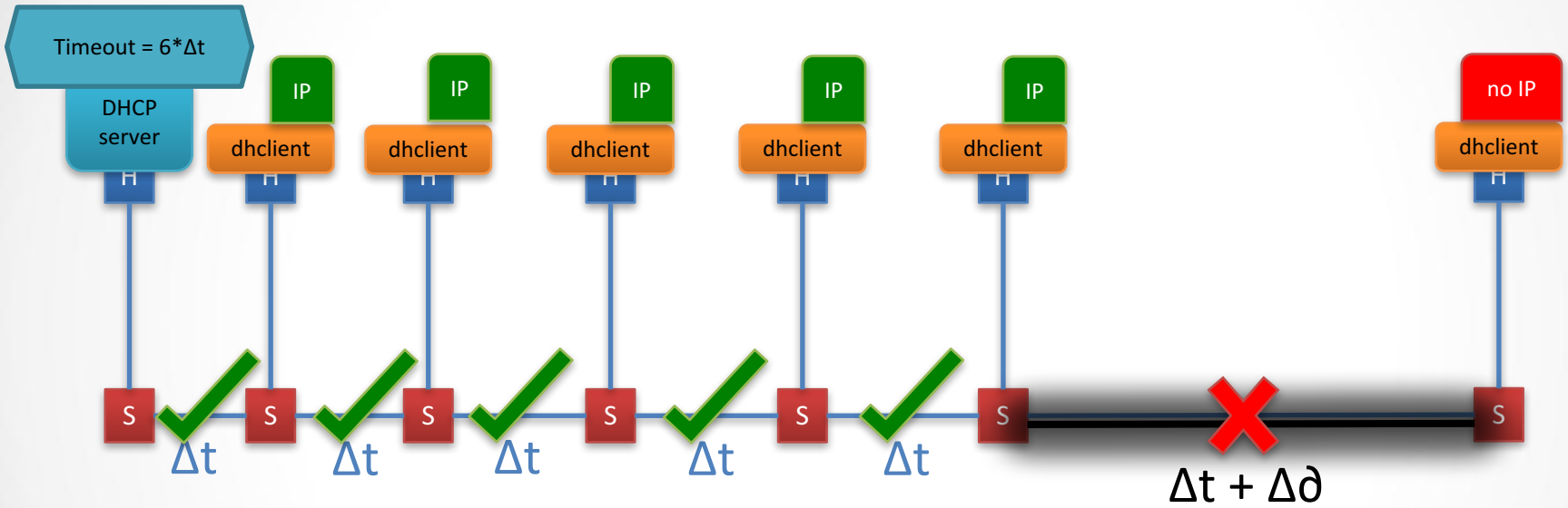
Моделирование распространения

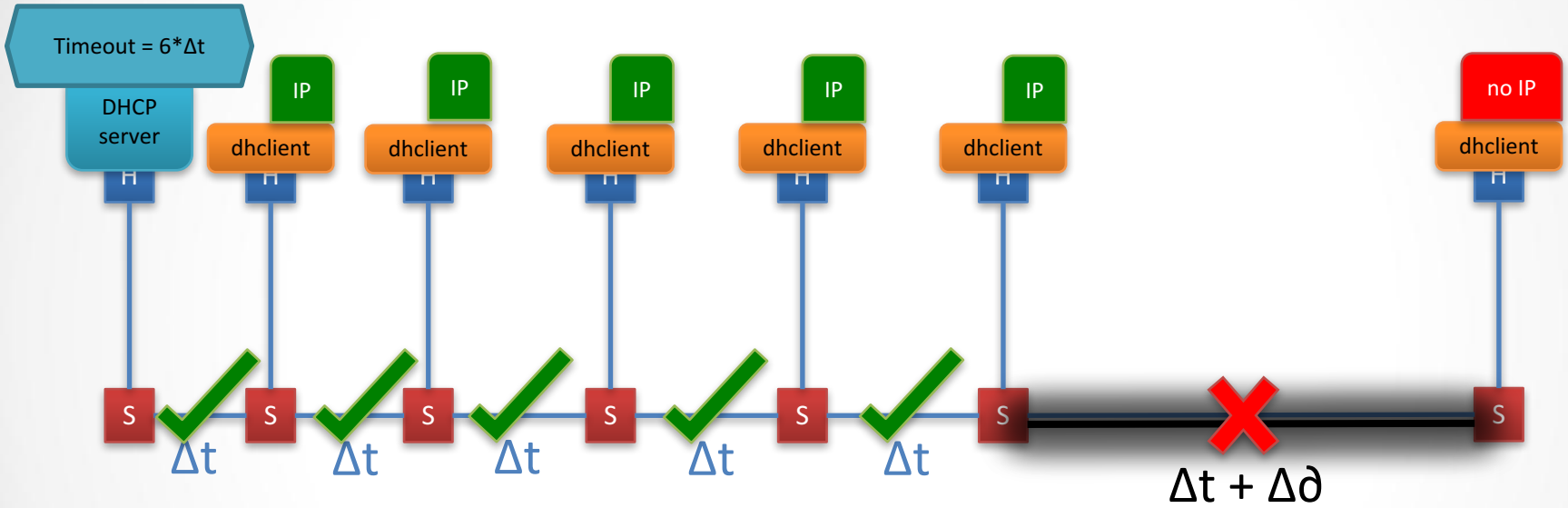



H
S
Sr

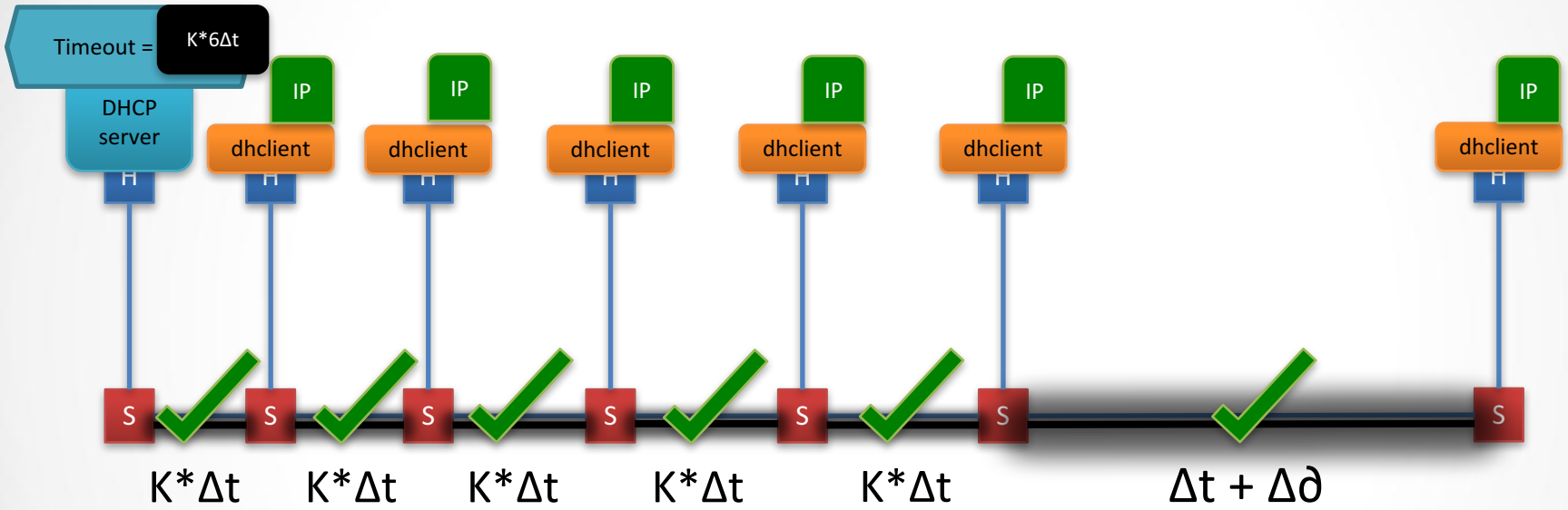

H
S
Sr


NPS
Сеть
Контроля
Сеть
данных
S
H
Sr

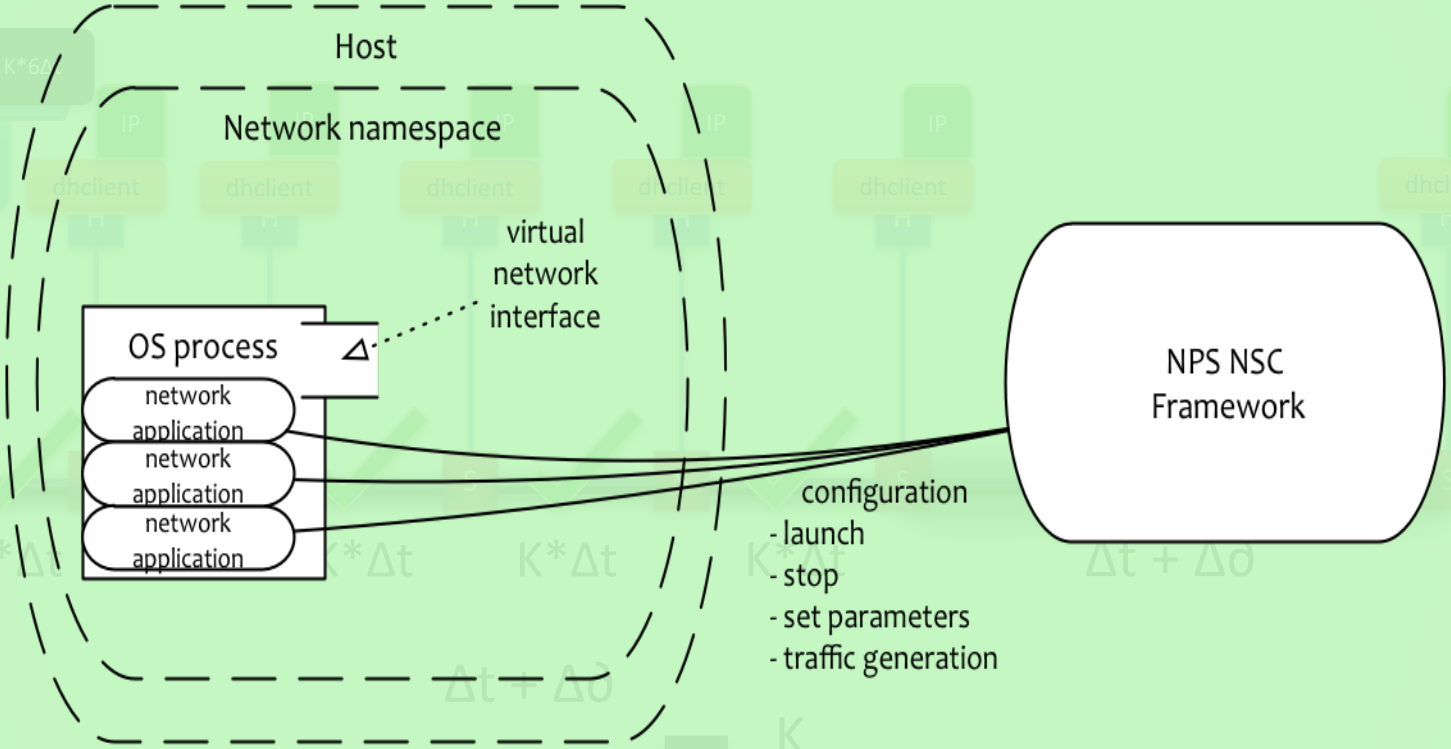

Timeout = 6*Δt
DHCP server
IP
dhclient
IP
dhclient
IP
dhclient
IP
dhclient
IP
dhclient
no IP
dhclient
H
S
Δt
Δt + Δδ



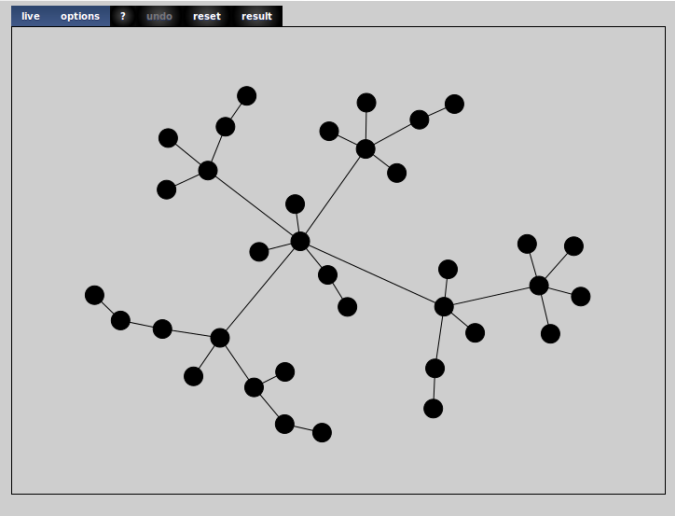
$$\frac{\Delta t + \Delta\partial}{\Delta t} = K$$

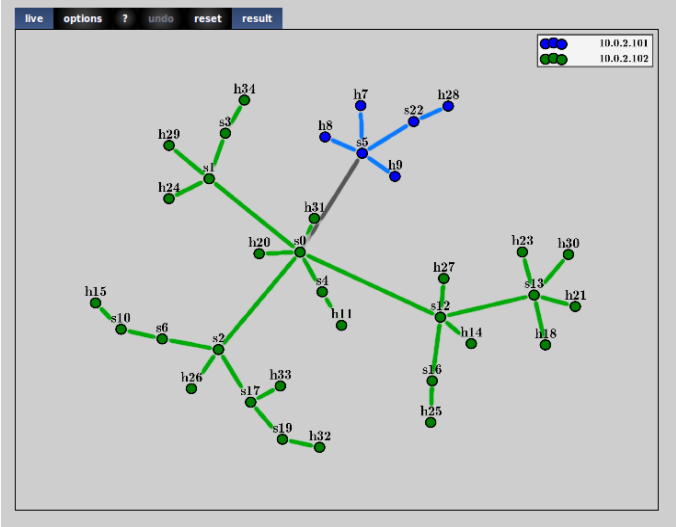


$$\frac{\Delta t + \Delta\partial}{\Delta t} = K$$


Host
Network namespace
virtual
network
interface
OS process
network
application
network
application
network
application
NPS NSC
Framework
configuration
- launch
- stop
- set parameters
- traffic generation

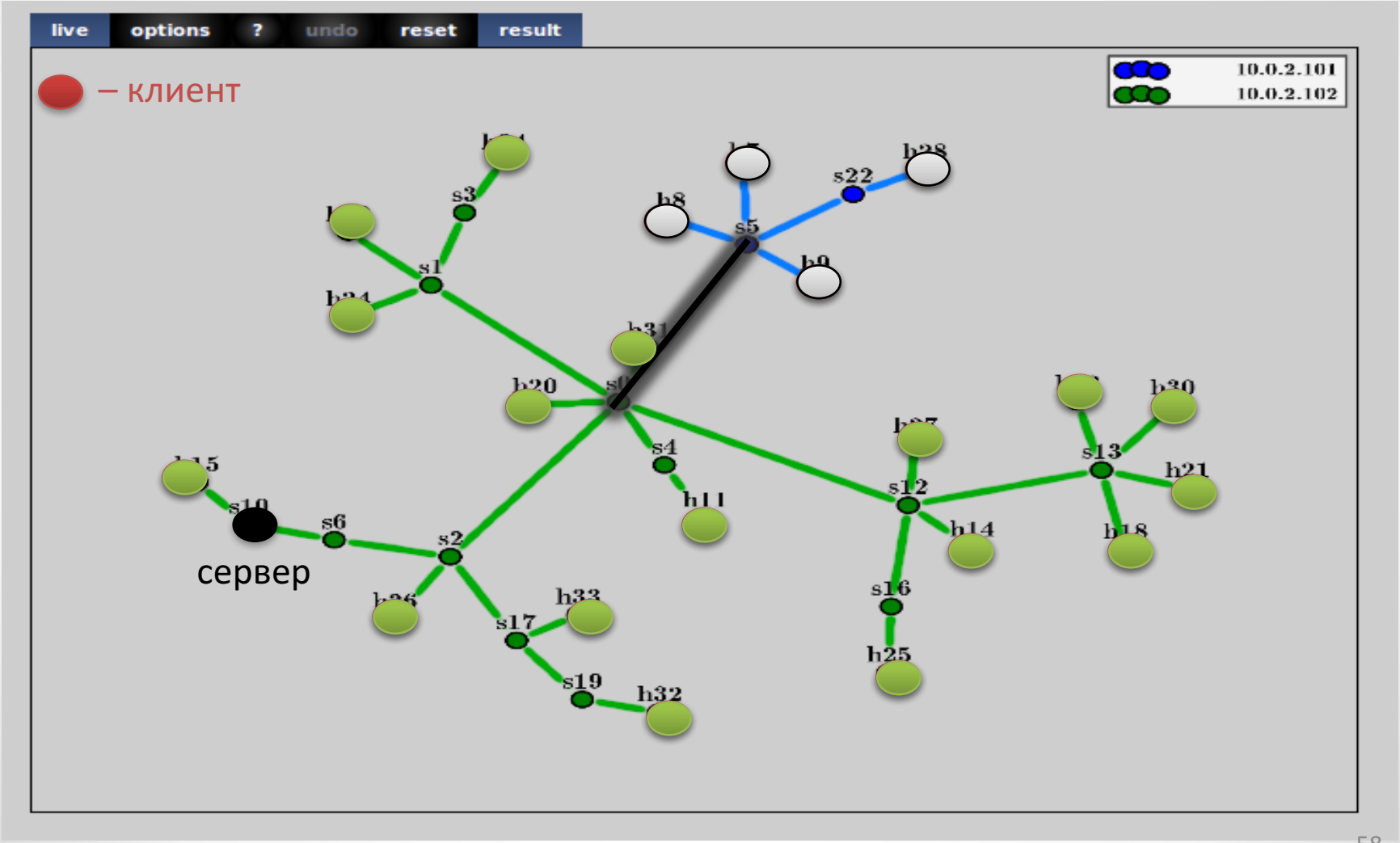
Служба управления модельным



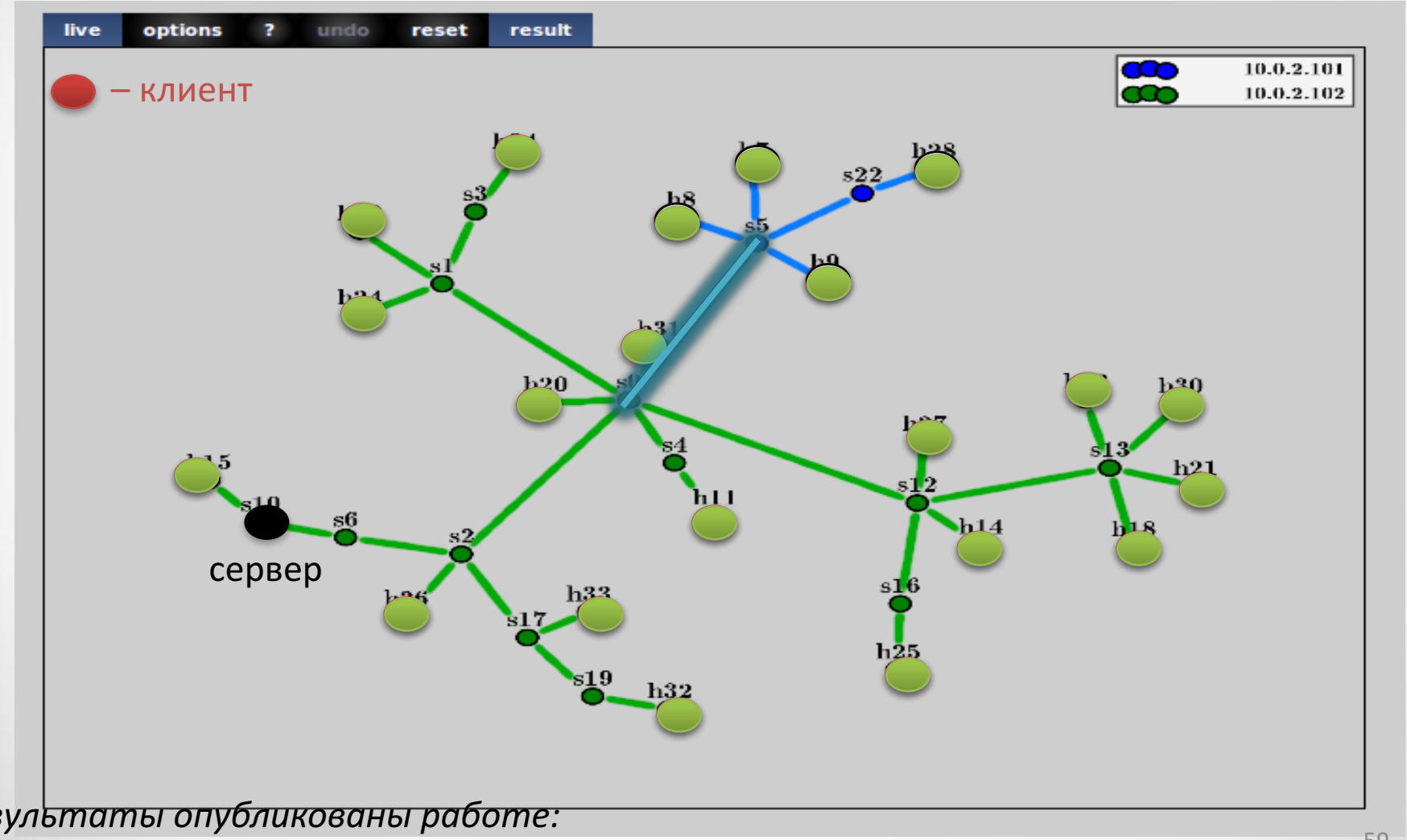


Проблема рассинхронизации между частями модели сети, расположенными на разных вычислителях.

Служба управления модельным



Служба управления модельным



результаты опубликованы работе:

Vitaly Antonenko, Ruslan Smelyanskiy, Nikolaev Andrey. Large Scale Network Simulation Based on HLA Approach. // Summer Computer Simulation Conference 2014.

Стоимость проведения предложенной синхронизации

88.35 sec

187.6 sec

Увеличение астрономического времени проведения эксперимента

Спасибо за внимание!