

УДК 004.7, 004.732

И.С. КОНСТАНТИНОВ, Ю.Г. ЧАШИН, И.А. ДЕНИСОВ,
В.В. ЛУКИН, Б.Ю. ШУЛЯК**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА
НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ**

Рассматриваются проблемы программно-конфигурируемых сетей, направления исследований, наиболее значимые проекты, описывается моделирование высокопроизводительной компьютерной сети для высокопроизводительного вычислительного кластера университета.

Ключевые слова: моделирование; программно-конфигурируемые сети; OpenFlow; высокопроизводительный вычислительный кластер.

Появившаяся в последние годы новая технология построения высокопроизводительных компьютерных сетей (КС) для различных центров хранения и обработки данных (ЦОД/ЦХОД) в последнее время является предметом исследований и обсуждений.

Эта технология предполагает размещение интеллектуальной части программно-конфигурируемой сети (ПКС) на центральном сервере и управление коммутаторами по средствам протокола OpenFlow. Такой подход призван обеспечить независимость функций высокоуровневого управления от аппаратного обеспечения, за счет чего должны ускориться процессы пересылки и маршрутизации [1].

Мотивирующими моментами перехода от обычных КС к ПКС являются:

- снижение стоимости оборудования;
- расширенные возможности управления сетью;
- возможность программного управления ресурсами и потоками данных;
- уменьшение вероятности несанкционированного проникновения в сеть и т.д.

Однако имеется и ряд сдерживающих факторов:

- необходимость выделенной управляющей сети;
- недостаточная масштабируемость;
- «сырость» текущей версии протокола OpenFlow;
- проблемы с обновлением оборудования;
- ограниченное количество моделей коммутаторов с поддержкой OpenFlow, и т.д.

Несмотря на имеющиеся недостатки, у сообщества исследователей имеется уверенность, что со временем все трудности будут преодолены, появятся новые решения и, в частности, новые версии протокола OpenFlow.

В настоящее время в мире существует несколько больших проектов, занимающихся развитием ПКС. Самыми известными из них являются: Open Network Foundation, Open Flow in Europe – Linking Infrastructure and Applications, Felix, ON.LAB, GENI и др. В России это проекты Центра прикладных исследований компьютерных сетей (ЦПИ КС) [2].

Проект Open Network Foundation (ONF) объединяет более 100 компаний-членов, продвигает стандарты ПКС. Основное достижение – выпуск открытого протокола OpenFlow, в настоящее время идет работа над версией 1.4, в которую, помимо прочего, будет добавлена поддержка оптических портов.

Проект Open Flow in Europe – Linking Infrastructure and Applications (OFELIA) – предоставляет оборудование и ресурсы для исследований с применением OpenFlow.

Проведено множество исследований, в основном в области создания междоменных управляемых сетей, в том числе оптических [3].

Проект FELIX – объединение проектов OFELIA и RISE (аналога OFELIA в Японии). Планируется использовать протокол Network Service Interface (NSI) совместно с OpenFlow для создания интегрированной междоменной сети. На данный момент (до марта 2014) идет поиск возможных применений. Возможные варианты: работа по принципу Follow the Moon, передача Ultra High Definition (видео высокого разрешения) на большие расстояния и др. [4].

Целью проекта ALIEN является создание Hardware Abstraction Level (HAL) – уровня абстракции, позволяющего работать с различным оборудованием (NetFGPA, коммутаторы, оптические коммутаторы и др.) [5].

В проекте OpenFlowSec.org разрабатывается сервис Security Enhanced (SE) Floodligh, позволяющий устанавливать политики безопасности в OpenFlow [6].

Проект FlowVizor реализует сетевой гипервизор, представляющий слой между коммутаторами и OpenFlow-контроллерами, позволяет разделить сеть на независимые уровни-слои. Каждый слой – некоторое подмножество сети, которое управляется отдельным OpenFlow-контроллером. Действия на одном слое не влияют на какой-либо другой. Благодаря этому можно тестировать новые идеи и разработки на существующей работающей сети, не мешая ее обычной работе [7].

Помимо приведенных имеется еще множество интересных проектов, таких, как TestON – система для автоматизации тестирования в ПКС; Ocf-фреймворк для управления сетями для испытаний и др.

Российский Центр прикладных исследований компьютерных сетей проводит исследования по нескольким направлениям:

- моделирование сетей. Разработано средство моделирования Mini Network;
- создание ПКС-коммутатора на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС);
- разработка сетевой операционной системы (ОС). Разработано средство для тестирования сетевых ОС NSProbe. В данный момент идет работа над созданием сетевой ОС, обладающей требуемыми свойствами (маршрутизация с QoS, балансировка нагрузки, фильтрация трафика и т.д.);
- применение OpenFlow для ЦОД, в том числе и для беспроводных сетей;
- обеспечение безопасности в ПКС;
- верификация ПКС для организации корректного и безопасного функционирования сети.

Также имеется множество интересных международных публикаций об исследованиях в этой области.

Публикация о PacketShader [8] является одной из первых и самых полных работ по использованию Graphics Processing Unit (GPU) для обработки пакетов. При использовании известной технологии CUDA удается достичь увеличения производительности более чем в 4 раза.

Существует публикация о преимуществах OpenFlow над GMPLS [9] и о способах взаимодействия этих протоколов. Уже есть пример работающей междоменной оптической сети на основе OpenFlow и GMPLS [10].

OpenFlow упоминается в некоторых публикациях проекта GLIF [11], где планируется использовать его совместно с протоколом NSI, но подробностей пока нет.

В НИУ «БелГУ» имеется высокопроизводительный вычислительный кластер, используемый в научных исследованиях и в учебном процессе, объединяющий:

- суперкомпьютер «Нежеголь»;
- суперкомпьютер «Кудесник»;

– высокопроизводительные серверы со следующими системами GRID: NorduGRID, Unicore, GlobusToolkit; «Гермес»; MySQL; phpMyAdmin для обучения Web-программированию и т.д.

Проблемой является то, что в силу ограничений имеющегося сетевого оборудования и неоптимальности сложившейся топологии (рис. 1) не всегда удается добиваться максимальной производительности вычислительного кластера.

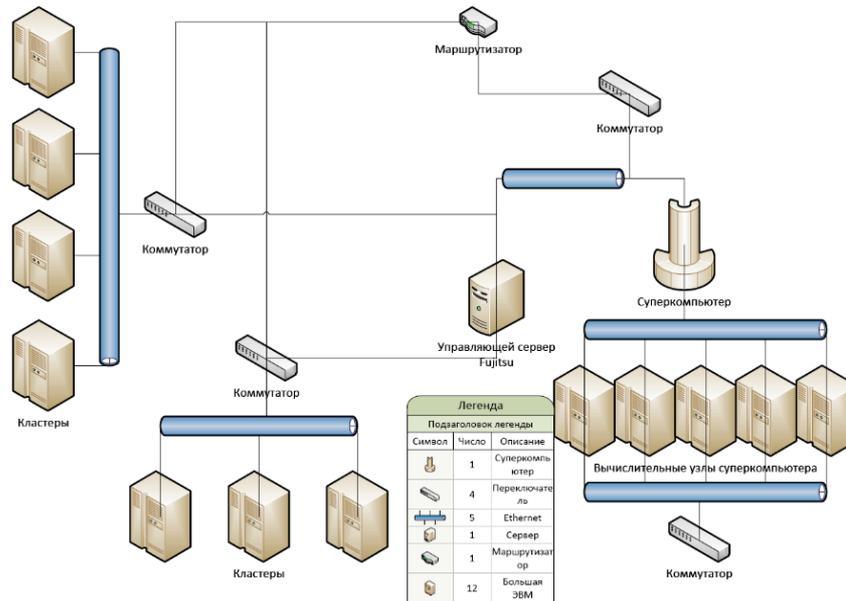


Рисунок 1 – Топология вычислительного кластера

Для ускорения работы кластера рассматривается, как вариант, использование ПКС. Предполагается, что изменение топологии и оптимизация управления позволит ускорить работу за счет сокращения длины маршрутов и, например, управления приоритетами потоков передачи данных.

Для исследований возможных вариантов ПКС была выбрана система моделирования сетевого окружения Mininet, позволяющая объединить в сеть коммутаторы, OpenFlow-контроллеры, хосты и эмулировать сетевую активность [12]. Данная система широко используется в зарубежных учебных заведениях для изучения принципов работы компьютерных сетей и маршрутизации, приложений OpenFlow, исследованиях сложных топологий.

MiniNet достаточно качественно эмулирует реальную физическую сеть, позволяет задавать различные характеристики каналов виртуальной сети, такие, как пропускная способность, задержка и потеря пакетов, джиттер и т.д. Имеется возможность интеграции созданной виртуальной сети в реальную сеть. Эмулятор поддерживает до 4096 узлов и способен генерировать трафик до 2 Гбит/с. Таким образом, направляя потоки данных по нескольким маршрутам виртуальной сети, можно исследовать механизмы ПКС и проводить различные оценки производительности, причем с учетом различных факторов, таких, как, например, влияние различных сетевых помех.

Расположение высокопроизводительного оборудования нашего кластера позволяет исследовать множество альтернативных топологий. Самой простой является топология с использованием одного OpenFlow-контроллера (рис. 2). Студентами факультета информационных технологий и прикладной математики (ИТиПМ) были промоделированы и исследуются множества вариантов ПКС, управляемых сервером Pox.

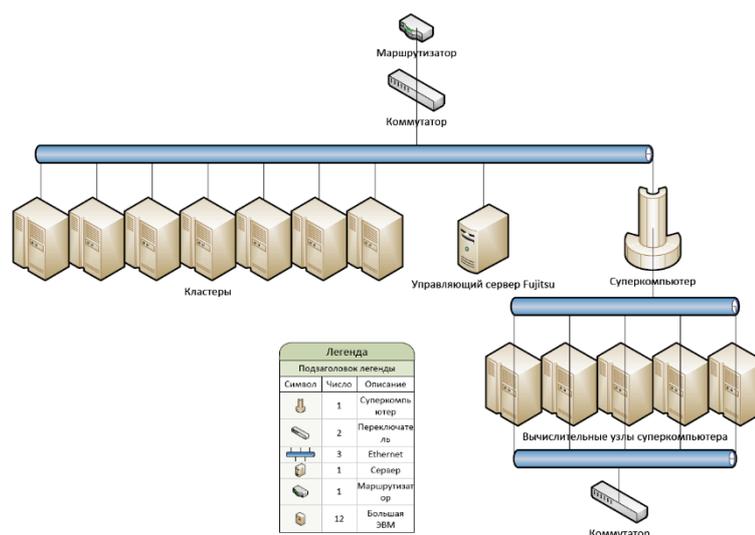


Рисунок 2 – Разработанная топология

Помимо исследований с вариантами топологий и механизмов ПКС, студентами проводятся исследования OpenFlow-контроллеров. В качестве тестового коммутатора исследовался популярный коммутатор фирмы D-Link DES 1100-16, который оказался доступным в силу его наличия у компании-партнера, занимающейся предоставлением интернет-услуг. Коммутатор хорошо зарекомендовал себя благодаря высокой отказоустойчивости, высокой скорости обработки пакетов и доступной цене. Из главных характеристик можно выделить:

- скорость коммутационной матрицы – 3,2 Гбит/с;
- максимальная скорость перенаправления пакетов – 2,38 Мбит/с;
- размер таблицы MAC-адресов – 8 Кбайт.

На данный момент произведена настройка контроллера для взаимодействия с сетью, что выражается в возможности контроллера «слушать» КС и логировать потоки, проходящие по ней. К сожалению, данный коммутатор не пригоден для использования в кластере в силу функционирования на скорости Fast Ethernet, в то время, как необходимо как минимум канал со скоростью Gigabit Ethernet. В дальнейшем планируется использовать коммутатор D-Link DGS-1210-28.

В заключении еще раз следует отметить актуальность и перспективность данного направления, заинтересованность и интерес международного сообщества и выразить надежду на появление новых инновационных решений в области ПКС.

Исследования проводились при финансовой поддержке Белгородского государственного национального исследовательского университета в рамках внутриуниверситетского конкурса на соискание грантов для создания и развития студенческих конструкторских бюро от 21.10.2013.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чашин Ю.Г. Управление в программно-конфигурируемых сетях // Журнал «Вопросы радиоэлектроники». Серия «ЭВМ», 2013. – Вып. 2. – С. 97-102.
2. Официальный сайт Центра прикладных исследований компьютерных сетей [Электронный ресурс]. – URL: <http://arccn.ru> (дата обращения: 28.01.2014).

3. OpenFlow in Europe: Linking Infrastructure and Applications (OFELIA). Publications and Presentations [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fp7-ofelia.eu/publications-and-presentations> (дата обращения: 28.01.2014).
4. FELIX Overview [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fp7-ofelia.eu/assets/OFELIA-Extension-Sync-August-2013/FELIX.pdf> (дата обращения: 28.01.2014).
5. Hardware Abstraction Layer (HAL). Whitepaper [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fp7-alien.eu/files/deliverables/ALIEN-HAL-whitepaper.pdf> (дата обращения: 28.01.2014).
6. OpenFlowSec [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.openflowsec.org> (дата обращения: 28.01.2014).
7. Rob Sherwood, Glen Gibb and others. Can the Production Network Be the Testbed? [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rob-sherwood.net/flowvisor-osdi10.pdf> (дата обращения: 28.01.2014).
8. PacketShader: A GPU-Accelerated Software Router [Электронный ресурс]. – URL: <http://shader.kaist.edu/packetshader> (дата обращения: 28.01.2014).
9. Saurav Das, Guru Parulkar and others. Why OpenFlow/SDN Can Succeed Where GMPLS Failed [Электронный ресурс]. – URL: http://archive.openflow.org/wk/images/4/46/OFvsGMPLS_ECOC.pdf (дата обращения: 28.01.2014).
10. M. Channegowda, R. Nejabati and others. Experimental demonstration of an OpenFlow based software-defined optical network employing packet, fixed and flexible DWDM grid technologies on an international multi-domain tested [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-21-5-5487> (дата обращения: 28.01.2014).
11. NSI & SDN. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.glif.is/meetings/2012/tech/slides/20121011-OF-NSI-GLIF.pdf> (дата обращения: 28.01.2014).
12. Bringing Openness & Innovation to Cloud Infrastructure. MiniNet [Электронный ресурс]. – URL: <http://onlab.us/mininet.html> (дата обращения: 28.01.2014).

Константинов Игорь Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности
Тел.: 8 (4722) 30-10-23
E-mail: ViceRectorScience@bsu.edu.ru

Чашин Юрий Геннадиевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: 8 (4722) 55-94-33.
E-mail: chashin@bsu.edu.ru

Денисов Илья Андреевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Бакалавр кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: 8 915 566 58 79
E-mail: denisov-ilya1@yandex.ru

Лукин Владимир Викторович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Бакалавр кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: 8 964 532 73 11
E-mail: 638081@bsu.edu.ru

Шуляк Борис Юрьевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Бакалавр кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: 8 905 670 79 08
E-mail: 578110@bsu.edu.ru

I.S. KONSTANTINOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Vice Rector for Research and Innovation*)

Yu.G. ChASHIN (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Department of Mathematical and Software Information Systems*)

I.A. DENISOV (*Bachelor of the Department of Mathematical and Software Information Systems*)

V.V. LUKIN (*Bachelor of the Department of Mathematical and Software Information Systems*)

B.Yu. ShULYaK (*Bachelor of the Department of Mathematical and Software Information Systems
Belgorod National Research University, Belgorod*)

WAYS OF INCREASE PRODUCTIVITY OF THE HIGH-PERFORMANCE COMPUTING CLUSTER ON THE BASIS OF THE PROGRAM CONFIGURED NETWORK

Problems of program configured networks, the directions of researches, the most significant projects are considered, modeling of a high-performance computer network, for a high-performance computing cluster of university is described.

Keywords: modeling; program configured networks; OpenFlow; high-performance computing cluster.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Chashin Yu.G. Upravlenie v programmno-konfiguriruemy'x setyax // Zhurnal «Voprosy radioelektroniki». Seriya «E'VM», 2013. – Vy'p. 2. – S. 97-102.
2. Oficial'ny'j sajt Centra prikladny'x issledovaniy komp'yuterny'x setej [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://arccn.ru> (data obrashheniya: 28.01.2014).
3. OpenFlow in Europe: Linking Infrastructure and Applications (OFELIA). Publications and Presentations [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.fp7-ofelia.eu/publications-and-presentations> (data obrashheniya: 28.01.2014).
4. FELIX Overview [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.fp7-ofelia.eu/assets/OFELIA-Extension-Sync-August-2013/FELIX.pdf> (data obrashheniya: 28.01.2014).
5. Hardware Abstraction Layer (HAL). Whitepaper [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.fp7-alien.eu/files/deliverables/ALIEN-HAL-whitepaper.pdf> (data obrashheniya: 28.01.2014).
6. OpenFlowSec [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.openflowsec.org> (data obrashheniya: 28.01.2014).
7. Rob Sherwood, Glen Gibb and others. Can the Production Network Be the Testbed? [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.rob-sherwood.net/flowvisor-osdi10.pdf> (data obrashheniya: 28.01.2014).
8. PacketShader: A GPU-Accelerated Software Router [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://shader.kaist.edu/packetshader> (data obrashheniya: 28.01.2014).
9. Saurav Das, Guru Parulkar and others. Why OpenFlow/SDN Can Succeed Where GMPLS Failed [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://archive.openflow.org/wk/images/4/46/OFvsGMPLS_ECOC.pdf (data obrashheniya: 28.01.2014).
10. M. Channegowda, R. Nejabati and others. Experimental demonstration of an OpenFlow based software-defined optical network employing packet, fixed and flexible DWDM grid technologies on an international multi-domain tested [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-21-5-5487> (data obrashheniya: 28.01.2014).
11. NSI & SDN. [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.glif.is/meetings/2012/tech/slides/20121011-OF-NSI-GLIF.pdf> (data obrashheniya: 28.01.2014).
12. Bringing Openness & Innovation to Cloud Infrastructure. MiniNet [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://onlab.us/mininet.html> (data obrashheniya: 28.01.2014).