

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭМУЛЯТОРОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Порохненко Ю.С., Полежаев П.Н.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В настоящее время всё больше развиваются технологии компьютерных сетей, появляются виртуальные, конвергентные, программно-конфигурируемые сети. Последние предназначены для эффективного управления потоками данных, передаваемых по сети, с единой точки – контроллера. Для реализации подобных сетей используется протокол OpenFlow [1].

Существует следующая классификация методов экспериментального исследования (см. таблицу 1) [2].

Таблица 1. Классификация методов исследования

Процесс	Вычислительная среда	
	Реальная	Модельная
Реальный	Натурное моделирование	Эмуляция
Модельный	Эталонное моделирование	Симуляция

Натурное моделирование представляет собой метод, при котором реальный процесс выполняется в реальной вычислительной среде. В качестве процесса могут выступать сервис, приложение и т.д., а в качестве среды – сервер, операционная система и т.д. При этом собирается информация о работе процесса и состоянии системы, в результате формируется статистика.

Эталонное тестирование – это метод, при котором смоделированный процесс выполняется в реальной среде, при этом оценивается эффективность её функционирования. Процесс должен охватывать следующие характеристики среды: её мощность, скорость обработки и ввода/вывода данных, пропускную способность сети и т.д. В отличие от натурального моделирования, в эталонном тестировании не важен результат выполнения процесса, внимание обращается на функционирование системы в ходе работы.

Симуляция представляет собой подход, при котором смоделированный процесс выполняется в рамках модели вычислительной среды. Такой метод позволяет многократно повторять испытания и достичь большого количества результатов на основе различных условий. В итоге можно оценить поведение системы в различных условиях и создать оптимальную стратегию управления ресурсами.

Эмуляция – это метод, в котором реальный процесс выполняется в модели вычислительной среды. Его идея заключается в том, что создаются синтетические условия для работы реального процесса. Примерами средств эмуляции являются такие проекты, как ModelNet [3], OMNet++ [4], Mininet [5], NS-3 [6].

В ходе исследования необходимо выбрать симулятор, который подходит для моделирования сети при решении следующих задач, связанных с

разработка эффективных алгоритмов планирования и миграции виртуальных машин. Рассмотрим ряд существующих решений.

ModelNet [3] представляет собой платформу для эмуляции сети, которая позволяет экспериментатору запускать реальный код на гипотетической сети с определенной пропускной способностью, задержкой, длиной очереди и другими свойствами. ModelNet может быть развернут на нескольких серверах. Один или несколько из них выделяются для эмуляции трафика, в то время как остальная часть может быть использована для работы в качестве узлов. Когда эти узлы взаимодействуют друг с другом, IP-пакеты посылаются через эмуляторы, чтобы создать иллюзию того, что пакеты приложений следуют по маршруту в реальной сети.

В первую очередь должна быть создана топология виртуальной сети. Для этого могут быть использованы инструменты Modelnet. Зная IP-адреса отправителя и получателя, эмулятор определяет путь и обрабатывает пакеты в соответствии с ним. Каждый хоп на этом пути имеет определенную пропускную способность, организацию очереди, задержку. Эмуляция происходит в режиме реального времени с точностью до миллисекунды.

Во многих распределенных системах серверы имеют гораздо большую мощность процессора и пропускную способность сети, чем требуется. Modelnet использует это, создавая сотни виртуальных узлов на каждом хосте.

OMNeT++ [4] обладает модульной структурой для моделирования сети. Она может использоваться в различных областях:

1. моделирование проводных и беспроводных сетей связи;
2. моделирование протоколов;
3. моделирование сетей массового обслуживания;
4. моделирование многопроцессорных систем и других распределенных аппаратных систем;
5. валидация аппаратных архитектур;
6. оценки аспектов производительности сложных программных систем.

OMNeT++ представляет собой инфраструктуру и инструменты для описания процесса моделирования. Модели собираются из повторно используемых компонентов – модулей. Модули могут быть соединены друг с другом через гейты (порты), а также вкладываться в другие более сложные модули без ограничения глубины вложения. Они связываются посредством передачи сообщений, которые могут содержать произвольные структуры данных. Модули могут передавать сообщения по заранее определенным путям или непосредственно к месту назначения. Последнее полезно для беспроводного моделирования, например. Модули могут иметь параметры, которые могут быть использованы для настройки их поведения или параметризовать топологию сети. Модули, располагающиеся на самом низком уровне иерархии модулей, называются простыми, и они написаны на C++.

OMNeT++ может работать в графическом режиме и режиме командной строки.

Эмулятор может работать на наиболее распространенных ОС, таких как Linux, Mac OS/X, Windows. OMNeT++ также поддерживает параллельное распределенное моделирование, используя несколько механизмов для связи между распределенными процессами, например, MPI или именованные каналы.

OMNEST [4] – коммерческая версия OMNeT++. Сам OMNeT++ является бесплатным только для учебного и некоммерческого использования.

Mininet [5] – это сетевой эмулятор. Он запускает коллекцию конечных хостов, коммутаторы и маршрутизаторы на одном ядре Linux. Mininet использует облегченную виртуализацию для того, чтобы система выглядела как целая сеть, работающая на том же ядре, системе и под одним пользователем. Хост Mininet ведет себя так же, как настоящий сервер, может запускать произвольные программы (в том числе все, написанные под Linux). Пакеты посылаются с заданной скоростью передачи и задержкой. Они обрабатываются виртуальными программными коммутаторами Ethernet, маршрутизаторами или middlebox согласно заданной топологии. Mininet имитирует работу виртуальных хостов, коммутаторов, контроллеров.

Эмулятор имеет ряд недостатков:

1. ограничения на ресурсы: они должны быть сбалансированы и распределены между виртуальными хостами и коммутаторами;
2. использование ядра Linux для всех виртуальных хостов; это значит, что нельзя запустить программное обеспечение, которое написано для других ОС;
3. Mininet не прописывает правила OpenFlow, если нужны пользовательские настройки маршрутизации или коммутации, необходимо разработать контроллер с необходимыми функциями;
4. по умолчанию сеть Mininet изолирована от локальной сети;
5. хосты Mininet распределяются хост-файлами системы в PID-пространстве, из-за чего есть вероятность завершить системный процесс;
6. Mininet не имеет понятия виртуального времени.

NS-3 [6] представляет собой сетевой эмулятор дискретных событий, который ориентирован в первую очередь для научных исследований и образовательных целей. Он является свободным программным обеспечением.

Проект стремится к созданию цельного ядра моделирования, хорошо документированного, простого в использовании и отладке, который обслуживал бы потребности всего процесса моделирования, от конфигурации сети до сбора и анализа результатов. Ядро моделирования NS-3 поддерживает исследования как IP-сетей, так и сетей, построенных на других протоколах. Подавляющее большинство пользователей фокусируется на беспроводном/IP-моделировании, которые включают модели для Wi-Fi, WiMAX или LTE, а также различных статических или динамических протоколов маршрутизации, таких как OLSR и AODV.

Кроме того, NS-3 поддерживает планировщик реального времени, что облегчает целый ряд случаев использования "моделирования-в-петле" для взаимодействия с реальными системами. Например, пользователи могут отправлять и принимать пакеты, сгенерированные эмулятором, с помощью

реальных сетевых устройств, и NS-3 может служить в качестве основы для соединений между виртуальными машинами.

Эмулятор имеет ряд преимуществ:

1. управление ресурсами; пользователь может соответствующим образом настроить виртуальные машины для каждого конкретного моделирования с требуемыми параметрами, такими как CPU, RAM и т.д.;

2. пользователь может редактировать сценарии моделирования/исходный код и запускать новые симуляции сразу после запуска предыдущей, не опасаясь перегрузки машины;

3. пользователь может запускать большое количество параллельных симуляций на множестве виртуальных машин;

4. процесс сбора результатов централизован, пользователь всегда имеет доступ к результату и соответствующим сценариям моделирования;

5. возможность управления процессом моделирования с помощью любого устройства с подключением к Интернету, а также онлайн редактирование скриптов/исходных файлов;

6. полуавтоматический процесс наладки рабочей среды, знание облачной инфраструктуры не является необходимым;

7. простая миграция рабочей среды между виртуальными машинами с использованием облачных систем, пакетно-массовое обслуживание кластеров, вычислительных сеток Linux/UNIX хостов.

UNetLab [7] – бесплатная многопользовательская платформа для моделирования виртуальных сетей с поддержкой большого списка оборудования. Эмулятор представляет собой виртуальную машину, основанную на Linux Ubuntu. Доступ к управлению происходит через Web-интерфейс,

Сервис обладает рядом преимуществ:

1. практически полноценная поддержка L2;

2. широкая поддержка оборудования Cisco;

3. неограниченное число запускаемых узлов;

4. мультивендорность;

5. многопользовательский функционал с независимыми запусками стенда;

6. низкие требования к ресурсам ПК;

7. полностью графический дизайн топологии сети;

8. неограниченное количество соединений между устройствами.

В таблице 3 представлена сравнительная характеристика рассматриваемых эмуляторов.

У каждого из них имеется документация, они поддерживают возможность моделирования виртуальной сети. OMNet++ и UNetLab могут работать на всех операционных системах, а ModelNet только на ОС Linux. Эмуляторы Mininet и ModelNet не поддерживают установку в распределенном виде на нескольких ПК. Важным преимуществом OMNet++, NS-3, UNetLab является возможность моделирования беспроводных сетей.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика эмуляторов

Название	Документация	Виртуальная сеть	Беспроводная сеть	Развертывание на нескольких компьютерах	ОС
ModelNet	+	+	-	+	Linux
OMNeT++	+	+	+	-	Linux, Mac, Windows
Mininet	+	+	-	-	Windows, Linux
NS-3	+	+	+	+	Windows, Linux
UNetLab	+	+	+	+	Windows, Linux, Mac

По результатам анализа можно сделать вывод, что NS-3 и UNetLab являются самым многофункциональными эмуляторами, которые подходят для решения поставленных задач по разработке эффективных алгоритмических решений для облачных систем.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Оренбургской области (проект № 16-47-560335), Президента Российской Федерации, стипендии для молодых ученых и аспирантов (СП-2179.2015.5).

Список литературы

1. *OpenFlow - Open Networking Foundation [Электронный ресурс] // Open Networking Foundation. – Электрон. дан. – 2016. Режим доступа: <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/openflow>. Загл. с экрана. - (Дата обращения: 25.11.2016).*
2. *Gustedt, J. Experimental methodologies for large-scale systems: a survey / J. Gustedt, E. Jeannot, M. Quinson // Parallel Process. Lett. World Scientific. 2009. Vol. 19. – с. 399–418.*
3. *Vahdat, A. Scalability and accuracy in a large-scale network emulator / A. Vahdat, K. Yocum, K. Walsh, P. Mahadevan, D. Kostid, J. Chase, D. Becker // ACM SIGOPS Operating Systems Review. – 2002. – Т. 36. – №. SI. – с. 271-284.*
4. *OMNet++ Simulation Manual [Электронный ресурс] // OpenSim Ltd. – Электрон. дан. – 2015. Режим доступа: <https://omnetpp.org/doc/omnetpp/manual/>. Загл. с экрана. – (Дата обращения: 25.11.2016).*

5. *Introduction to Mininet* [Электронный ресурс] // *Mininet Project*. – Электрон. дан. – 2016. Режим доступа: <https://github.com/mininet/mininet/wiki/Introduction-to-Mininet>. Загл. с экрана. – (Дата обращения: 25.11.2016).

6. *NS-3 Documentation* [Электронный ресурс] // *NSNAM*. – Электрон. дан. – 2015. Режим доступа: <https://www.nsnam.org/overview/what-is-ns-3>. Загл. с экрана. – (Дата обращения: 25.11.2016).

7. *UNetLab Documentation* [Электронный ресурс] // *EVE-NG*. – Электрон. дан. – 2016. Режим доступа: <http://www.unetlab.com/documentation/index.html>. Загл. с экрана. – (Дата обращения: 25.11.2016).

