

А. А. Сорокин, В. Н. Дмитриев, Н. Н. Лосев

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА NETWORK SIMULATOR

Введение

В настоящее время на рынке образования возникают сложности при организации лабораторной базы в учебных заведениях различного уровня (университеты, колледжи, технические лицеи). Одной из наиболее существенных трудностей при обеспечении лабораторной базы стала высокая стоимость лабораторного оборудования (стоимость одного стенда может составлять несколько сотен тысяч рублей). Наиболее остро проблема обеспечения лабораторий сказывается при подготовке специалистов в области телекоммуникаций, т. к. помимо высокой стоимости лабораторного оборудования наблюдается его быстрое моральное устаревание. Практика показала, что альтернативу лабораториям на основе стендов составляют виртуальные лаборатории, в состав которых входят программно-аппаратные платформы. Область использования виртуальных лабораторий различна: проведение лабораторно-практических занятий, выполнение квалификационных и научных работ. Программно-аппаратные платформы состоят из персонального компьютера и специализированного программного пакета.

Среди виртуальных лабораторий наибольшее распространение получили решения, созданные с использованием специализированного программного обеспечения (Simulink, OpNET Modeler), распространяемого на основе коммерческих лицензий. Возможности данных программных пакетов позволяют использовать их при подготовке лекционных и лабораторных занятий, а также при проведении научных исследований. Стоимость использования подобного программного обеспечения составляет от 250 тыс. до 4,5 млн руб. и более [1–3]. Учитывая сложившийся уровень цен, приобретение многих специализированных программных пакетов для ряда учебных заведений дорого. Альтернативу программному обеспечению, распространяемому на основе коммерческих лицензий, составляет свободно распространяемое программное обеспечение (СПО). Примером программного обеспечения, которое можно использовать как в учебном процессе, так и при проведении научных исследований в области телекоммуникаций, является программный пакет Network Simulator.

В связи с вышеизложенным **целью** исследований являлся анализ программного пакета Network Simulator как основы виртуальной лаборатории для организации учебного процесса и проведения научных исследований по направлению «Телекоммуникации».

Характеристика программного пакета Network Simulator

Программный пакет Network Simulator (NS) предназначен для имитационного моделирования систем связи различного назначения: локальные и транспортные сети, системы космической связи. Для проведения моделирования средствами программного пакета NS необходимо создать специальный файл – «скрипт», в котором описывается исследуемая система связи. Скрипт описывается на специальном языке Tool Command Language (TCL). В скрипте описываются: модели физического уровня (беспроводная или проводная среда передачи); модели распространения электромагнитных волн, модели канального уровня (например, протокол IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.15 (Bluetooth), IEEE 802.3 (Ethernet)); модели сетевого уровня (протоколы динамической или статической маршрутизации); модели транспортного уровня (протоколы: UDP – User Datagram Protocol или TCP – Transport Control Protocol); модели приложений, передаваемых по сети (трафик с постоянной скоростью (CBR, Constant Bit Rate), передача файлов (FTP, Fail Transfer Protocol) и другие виды трафика [4–7].

Результаты моделирования автоматически сохраняются в двух трассировочных файлах, называемых «Файл графической анимации» и «Файл событий в сети». «Файл графической анимации» позволяет визуально наблюдать за работой сети (топология, направление движения пакетов, потери пакетов на узлах, обрывы каналов, реагирование протоколов на изменение топологии сети). «Файл событий в сети» используется для проведения количественной оценки

работы сети построением двумерных и трехмерных графиков и формированием таблиц, в которых указывается максимальная, минимальная и средняя задержка, число потерянных пакетов, общее число пакетов, размер пакетов и другие характеристики сети. Для упрощения работы в программе и более качественной визуализации разработаны дополнительные модули, позволяющие упростить построение топологии сети, назначение приложений, передаваемых по сети, визуализацию работы систем космической связи, вплоть до трехмерного моделирования покрытия системой космической связи поверхности Земли. Примерами дополнительных визуализаторов являются приложения NS-Satplot и SaVi [5, 7]. В зависимости от целей моделирования, NS позволяет изучить систему связи с различным уровнем абстракции (общие принципы работы систем связи с пакетной коммутацией; системы связи, работающие в заданном стандарте; спроектировать и проверить работу новых протоколов работы систем связи).

Преимущества открытого исходного кода программы и ее свободное распространение позволяют использовать ее как для учебных целей, так и во время проведения научных исследований. В учебных целях на базе NS возможны:

- организация учебной лаборатории в учебных заведениях различного уровня (от кратковременных курсов повышения квалификации до университетов связи);
- использование графических результатов моделирования, получаемых при помощи визуализаторов, при разработке мультимедийных лекционных курсов; это ценно при изучении дисциплин в области систем космической связи;
- упрощение дистанционного обучения: возможности лицензии позволяют обучающемуся данный программный пакет устанавливать непосредственно на его домашнем компьютере, превращая его в лабораторию по изучению работы телекоммуникационных систем.

Использование программного пакета NS в научных целях позволяет:

- создавать новые модели систем связи; примером является разработка и проверка работоспособности модели, описывающей систему связи с динамической топологией сети регионального уровня [8] (результаты моделирования системы [8] приведены в [9]);
- вести разработку и проверку новых протоколов канального и сетевого уровней (примерами являются [10, 11]).

При изучении общих принципов работы систем связи с пакетной коммутацией начальными данными для эксперимента служат: модели каналов, модели узлов, модели очередей, набор приложений, передающихся по сети, а также расписание событий в сети – время начала и окончания работы сервиса, время обрыва и восстановления каналов, число узлов участников сети. Инсталлируемый на рабочую станцию дистрибутив пакета NS уже содержит достаточное количество встроенных моделей сетевых элементов, чтобы начать изучение работы большого числа телекоммуникационных систем. Пример исследуемой сети показан на рис. 1.

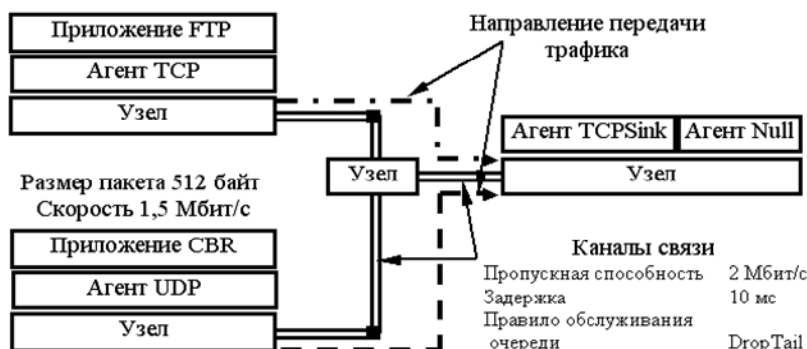


Рис. 1. Пример моделируемой системы связи с подключением «точка – многоточие», описываемой в NS

На рис. 1 приведены модели передающих узлов: верхний узел реализует приложения по передаче файлов при помощи протокола транспортного уровня TCP, гарантирующего доставку информационных пакетов; нижний реализует приложение по передаче трафика с постоянной скоростью (голоса или видео): скорость передачи трафика 1,5 Мбит/с, размер информационного пакета 512 байт, на транспортном уровне используется, UDP-каналы связи обладают

пропускной способностью 2 Мбит/с, вносят задержку 10 мс, обслуживание очереди производится по правилу DropTail (согласно данному правилу отбрасываются все пакеты, заставшие буфер полным), моделью принимающего узла описывается узел, на который отправляются пакеты. Визуальная оценка работы систем связи производится при помощи программ анимации, например Network Animator; количественная оценка работы сети может производиться при помощи программ-графопостроителей, таких как XGraph, GnuPlot, TraceGraph [7, 12]. Пример отображения результатов моделирования системы связи из четырех узлов, по которой передается CBR-приложение, показан на рис. 2.

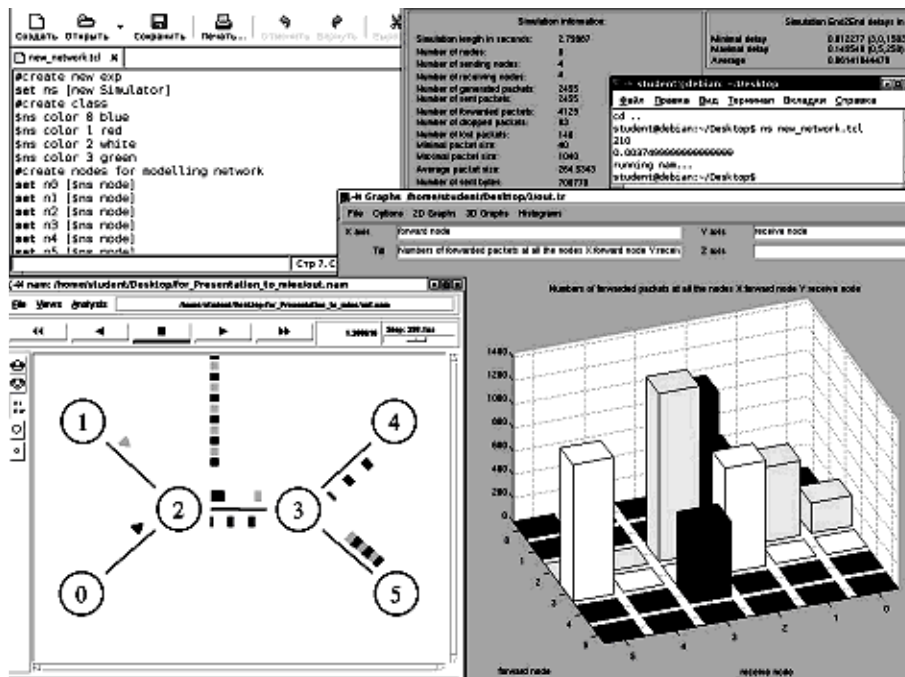


Рис. 2. Моделирование проводных систем связи

Возможности программного пакета NS позволяют производить моделирование проводных и беспроводных локальных вычислительных сетей (IEEE 802.3, IEEE 802.11). В процессе моделирования сетей IEEE 802.3 возможно изучение работы одноуровневых и иерархических сетей, предусмотрено изучение работы сети в режиме многоадресной рассылки. Вид моделируемой системы представлен на рис. 3 [7].

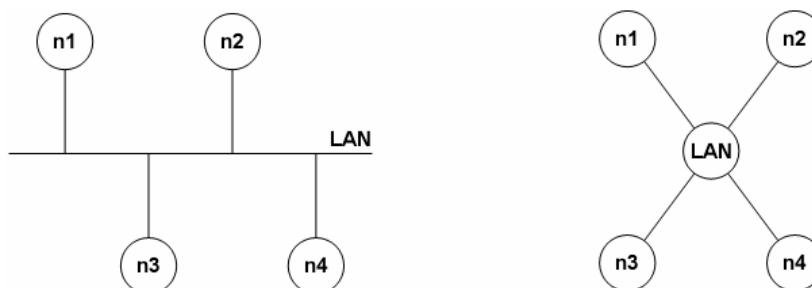


Рис. 3. Внешний вид моделируемой Ethernet-сети: а – вид сети в режиме анимации; б – реальная схема подключения

При помощи NS возможно исследование работы телекоммуникационных систем, по которым осуществляется передача web-трафика и в состав которых входят сотни узлов.

При моделировании беспроводных сетей передачи данных в различных режимах работы средствами программного пакета NS используются соответствующие модели среды распространения, протоколов физического, канального, сетевого уровней, приложений, подвижности узлов.

Для удобства пользования в NS встроены программы, позволяющие автоматизировать процесс создания узлов и закрепление за ними определенных трафиковых приложений. Предусмотрено также моделирование гибридных сетей, содержащих как проводные, так и беспроводные узлы. Пример моделирования Wi-Fi-сети показан на рис. 4. Возможности программного пакета позволяют изучать и исследовать системы связи стандартов IEEE 802.15 (Bluetooth, ZigBee) и IEEE 802.16 (WiMAX).

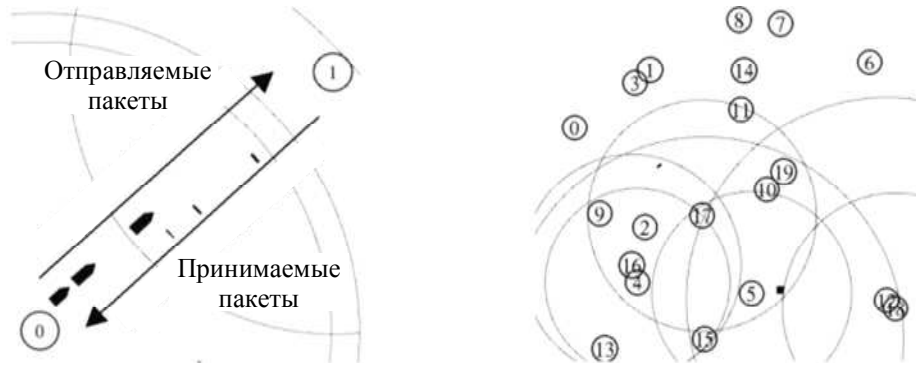


Рис. 4. Пример моделирования сетей IEEE 802.11: *a* – сеть топологии «точка-точка»; *б* – сеть топологии «равный с равным»

Средствами программного пакета NS могут быть смоделированы системы космической связи на геостационарной, круговой (средней и низкой) и эллиптических орбитах, а также система позиционирования. В качестве анализируемых параметров используются джиттер, задержка, вероятность потери информационного пакета и другие параметры аналогично проводным и беспроводным сетям связи. Для визуализации процесса работы системы космической связи для NS требуются дополнительные программные модули. На рис. 5 показан внешний вид области моделирования, программы SaVi, описывающей работу системы спутниковой связи оператора Global Star. Программа SaVi содержит около 20 моделей систем космической связи, в том числе системы связи на геостационарной орбите, системы позиционирования, системы связи на низких орбитах. Возможности программы SaVi предусматривают и построение новых моделей систем космической связи, в которых число спутников и высота орбит задаются пользователем.

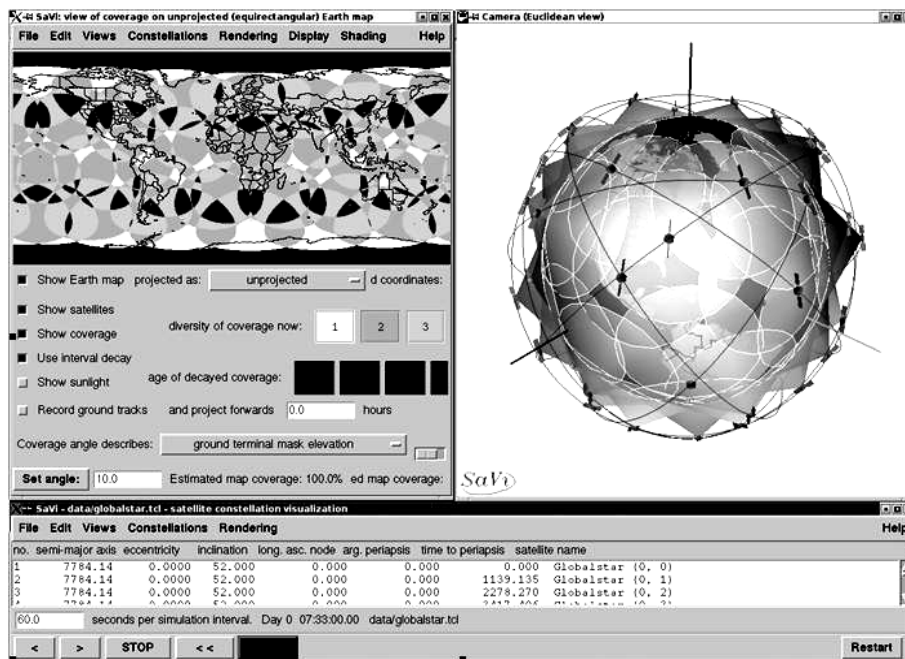


Рис. 5. Моделирование системы спутниковой связи оператора Global Star

С учетом требований, предъявляемых к передаче мультисервисного трафика [13], и результатов моделирования средствами пакета NS возможно проведение оценки исследуемой системы связи на возможность использования для передачи различной информации (голосовая и видеосвязь, передача файлов). Для проведения оценки работы телекоммуникационной системы при помощи виртуальной лаборатории, основанной на программном пакете NS, предлагается итерационный алгоритм, который позволяет принимать решение о правильности выбора параметров оборудования сети и протоколов, управляющих сетью. Схема работы алгоритма приведена на рис. 6.

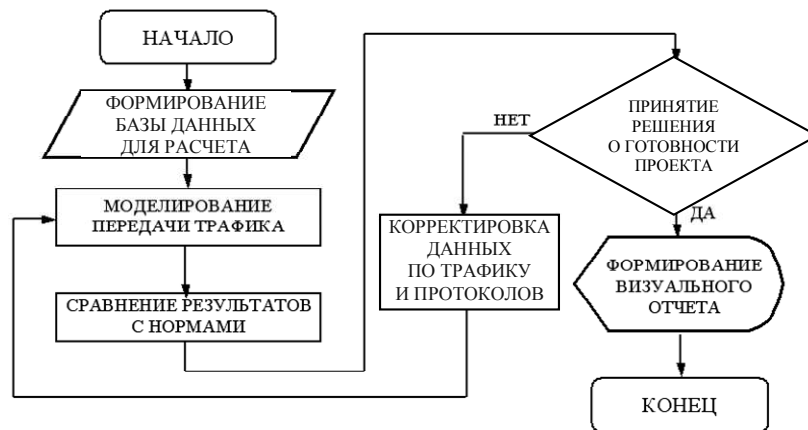


Рис. 6. Алгоритм оценки правильности выбора параметров оборудования и сетевых протоколов

Апробация данного алгоритма прошла в ходе исследований по оценке пригодности системы связи с динамической топологией сети, предназначенной для предоставления мультисервисных телекоммуникационных услуг на крупных подвижных объектах, таких как корабль или поезд [8, 14]. Результаты исследований по оценке пригодности системы связи с динамической топологией сети приведены в [9]. Использование данного алгоритма позволило определить виды протоколов транспортного уровня, используемых при передаче различных приложений, и доказало возможность использования протоколов динамической маршрутизации, предназначенных для систем связи со статической топологией, в системах связи с динамической топологией сети, в которых в качестве сетевых узлов используются крупные подвижные объекты.

Выводы

Анализ программного пакета Network Simulator показал, что его можно использовать как основу виртуальной лаборатории для организации учебного процесса и проведения научных исследований по направлению «Телекоммуникации» в учебных заведениях различного уровня: от кратковременных курсов повышения квалификации до специализированных университетов связи.

С учетом условий лицензии, на базе которой распространяется данный программный продукт, возможна: организация учебных лабораторий по изучению принципов работы известных проводных и беспроводных систем связи, использование графических результатов моделирования при разработке мультимедийных лекционных курсов, упрощение дистанционного обучения, т. к. данный программный пакет может быть установлен на домашнем компьютере обучающегося. Использование программного пакета Network Simulator в научных целях позволяет: создавать новые модели систем связи, вести разработку и проверку новых протоколов канального и сетевого уровней.

Для упрощения работы виртуальной лаборатории на базе программного пакета Network Simulator, с учетом требований, предъявляемых к передаче мультисервисного трафика, предложен алгоритм оценки правильности выбора параметров оборудования и сетевых протоколов. Данный алгоритм апробирован в ходе выполнения исследований по оценке работоспособности системы связи с динамической топологией сети.

Развитие виртуальной лаборатории на базе программного пакета открывает возможности по упрощению решения задачи организации лабораторий в учебных заведениях различного уровня, готовящих специалистов различной квалификации по направлению «Телекоммуникации».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программный пакет OPNET Technologies, Inc. / <http://www.opnet.com>.
2. Программный пакет Simulink – Simulation and Model-Based Design / <http://www.mathworks.com/products/simulink>.
3. Кучерявый Е. А. NS2 как универсальное средство имитационного моделирования сетей связи / <http://www.cs.tut.fi/~yk/ns2ru/ns2.pdf>.
4. Программный пакет The Network Simulator – ns-2 / <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
5. Программный пакет SaVi / <http://savi.sf.net>.
6. Teerawat Issariyakul, Ekram Hossain. Introduction to Network Simulator NS2. – Springer Science + Business Media, LLC, 2009. – 435 p.
7. Kevin Fall, Kannan Varadhan. The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation). The VINT Project A Collaboration between researchers at UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, 2007. – 418 p.
8. Пат. № 2341896 РФ. Способ мобильной связи между подвижными и стационарными объектами / Дмитриев В. Н., Сорокин А. А.
9. Сорокин А. А. Разработка и оценка модели системы связи с динамической топологией сети // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2009. – № 1 (48). – С. 13–18.
10. Yi Lu. Adaptive and heterogeneous mobile wireless networks / Center for Education and Research in Information Assurance and Security, Purdue University, West Lafayette, 2004. – 160 p.
11. Weichao Wang. Securing wireless network topology and routing / Center for Education and Research in Information Assurance and Security, Purdue University, West Lafayette, 2005. – 166 p.
12. Программный пакет TraceGraph // www.geocities.com/tracegraph.
13. Телекоммуникационные системы и сети: учеб. пособие: в 3 т. Т. 3. – Мультисервисные сети / под ред. проф. В. П. Шувалова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 с.
14. Дмитриев В. Н., Сорокин А. А., Пищин О. Н. Системы связи с динамической топологией сети // Информационные системы и технологии: проблемы и перспективы. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – С. 59–118.

Статья поступила в редакцию 21.12.2010

**VIRTUAL LABORATORY
FOR MODELING AND STUDYING
OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS
BASED ON SOFTWARE PACKAGE
NETWORK SIMULATOR**

A. A. Sorokin, V. N. Dmitriev, N. N. Losev

The analysis of software package Network Simulator for use in the educational and scientific purposes is made. The methods of modeling of communication networks, such as packet switching in network, local area wired and wireless networks, satellite communication systems are considered.

Key words: modeling, Network Simulator NS2, science, studying, algorithm.