

- получение оценок числа роботов-диверсантов;
- оценка вероятности выполнения основной задачи с учетом нанесенного ущерба;
- необходимое/достаточное число аутентичных роботов для выполнения задачи группировкой с заданной вероятностью с учетом данных о наличии/возможностях роботов-диверсантов.

Кроме того, полученные результаты могут использоваться при разработке методов и средств противодействия ДИВ на КФС и, в частности, устойчивых к компрометации алгоритмов взаимодействия.

Список литературы

1. Jazdi N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0//Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014. С. 1-4.
2. Akella R., Tang H., McMillin B.M. Analysis of information flow security in cyber-physical systems //International Journal of Critical Infrastructure Protection. 2010. Т. 3. №. 3. С. 157-173.
3. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.: Физматлит. 2009. Т. 280.
4. Lee E.A. Cyber physical systems: Design challenges //Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). 11th IEEE International Symposium on. IEEE. 2008. С. 363-369.
5. Higgins F., Tomlinson A., Martin K. M. Threats to the swarm: Security considerations for swarm robotics //International Journal on Advances in Security. 2009. Т. 2. №. 2&3.
6. Зикратов И.А., Виксин И.И., Зикратова Т.В. Мультиагентное планирование проезда перекрестка дорог беспилотными транспортными средствами // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 5(105). С. 839-849.
7. Viksnin I. I., Iureva, R. A., Komarov I. I., Drannik A. L Assessment of stability of algorithms based on trust and reputation model // FRUCT. 2016. С. 364-369.
8. Rubenstein M., Hoff N., Nagpal R. Kilobot: A low cost scalable robot system for collective behaviors // Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on. IEEE, 2012, С. 3293-3298.
9. Дранник А.Л., Комаров И.И., Юрьева Р.А. Моделирование проблем информационной безопасности мультиагентных систем // В мире научных открытий. 2014. № 4 (52). 418 с. С. 61-71.
10. Юрьева Р.А., Комаров И.И., Дранник А.Л., Масленников О.С., Егоров Д.А., Елисеев Ю.М. Учет конструктивных особенностей стайных роботов в решении задач моделирования проблем информационной безопасности // Наука и бизнес: пути развития. 2015. № 3(45). С. 63-67.
11. Коваль Е.Н., Лебедев И.С. Общая модель информационной безопасности робототехнических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 4(86). С. 153-154.
12. Юрьева Р.А., Комаров И.И., Дородников Н.А. Построение модели нарушителя информационной безопасности для мультиагентной робототехнической системы с децентрализованным управлением // Программные системы и вычислительные методы. 2016. № 1. С. 42-48.

Мурадов Александр Романович — старший лаборант, Виксин Илья Игоревич — ассистент, Пантюхин Игорь Сергеевич — ассистент, Масленников Олег Сергеевич — ассистент, Комаров Игорь Иванович — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры проектирования и безопасности компьютерных систем, Юрьева Радда Алексеевна — ассистент кафедры систем и технологий техногенной безопасности Университета ИТМО. Контактный телефон +7 (812) 232-97-04.

СЕТЕВОЙ ПАКЕТНЫЙ СИМУЛЯТОР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Г.М. Антонова (ИПУ РАН), А.П. Титов (МФЮА)

Показано, что известные сетевые пакетные симуляторы помогают решать многочисленные задачи исследования и совершенствования телекоммуникационных систем, но не предназначены для имитации динамических свойств сети. Описана структура сетевого пакетного симулятора, учитывающего динамические свойства сети, а также алгоритм его работы.

Ключевые слова: сетевой пакетный симулятор, коммуникационные сети, динамические свойства, имитационное моделирование.

Введение

Создание динамической модели коммуникационной сети — актуальная задача современного этапа развития рынка промышленной автоматизации. Компьютерная модель необходима при тестировании новых протоколов передачи данных, при выборе оптимальной сетевой архитектуры и компонентов коммуникационной инфраструктуры и др. Для систем передачи данных (СПД), работающих с большими потоками информации [1], пользователи должны понимать влияние на работу сети таких характеристик, как коэффициент готовности, полоса пропускания, среднее время передачи сообщения или пакета, задержки, вероятность потери сообщения или пакета и др. Предварительное определение оценок качества СПД по модели требуется

как при проектировании, так и в процессе эксплуатации с целью мониторинга функционирования.

Цель работы состоит в обосновании выбора модулей ПО для моделирования динамических свойств коммуникационной сети. Процессы в СПД имеют очень высокую скорость. Даже совершенные компьютерные модели не способны имитировать реальные процессы, протекающие в коммуникационных устройствах передачи данных и отследить изменения текущих характеристик во времени. Однако обобщенные интегральные характеристики сети могут быть успешно исследованы, если будет создана адекватная модель. Имитационные эксперименты позволят проверить изменения значений интегральных характеристик сети в реальных условиях эксплуатации и сделать вывод о пригодности СПД для внедрения.

Инструменты современного моделирования коммуникационной сети

Аналитическое моделирование обеспечивает удовлетворительное описание некоторых аспектов функционирования СПД. К сожалению, такие модели основаны преимущественно на результатах теории массового обслуживания, расширяющей классическую теорию телетрафика в терминах Пуассоновских процессов. Такие модели не позволяют принимать во внимание реальные вероятностные характеристики информационного потока, взаимное влияние информационных потоков, уменьшение скорости передачи вследствие повторной передачи и потери пакетов, влияние отказов в различных сетевых устройствах и эффекта последовательного восстановления различных сетевых устройств и другие особенности функционирования СПД. Они не позволяют проверить правильность приоритетов пользователей, наложенных для ограничения потоков информации в сети.

Компьютерное моделирование СПД позволяет реализовать имитационные модели СПД с помощью известных языков профессионального программирования низкого уровня (Ассемблер, С++, Java и т. п.) или проблемно-ориентированных языков. Такие модели имитируют разные аспекты функционирования СПД и традиционно отличаются высокой сложностью подготовки и отладки моделирующих программ.

Имитационное моделирование с использованием макроязыков высокого уровня, в частности, макроязыка GPSS World, обеспечивает возможность оценить средние характеристики СПД. Имитационные GPSS-модели разнообразны и решают множество проблем оценки характеристик передающих систем как систем с очередями. Их основной недостаток состоит в необходимости собирать и сравнивать значительный объем статистической информации для описания стохастических закономерностей, управляющих поведением элементов передающей системы, и предоставляющих возможность построения адекватной модели. Эти трудности не препятствуют разработке ряда компьютерных моделей и систем программирования для имитации СПД.

Особое место занимает имитационное моделирование на базе универсальных языков программирования, реализованное в виде набора программных модулей, имитирующих различные элементы СПД. Такой подход уменьшает сложность разработки адекватной модели и в современной терминологии выделится в отдельную технологию разработки пакетов программ, которые называют сетевыми пакетными симуляторами. При этом физические узлы и каналы сети моделируются как отдельные программные блоки. Появляется разновидность коллекции программных модулей. Далее модель СПД формируется как комбинация модулей. Она подобна реальным сетям, но реализована не в пространстве, а в компьютерной системе. Имитационные эксперименты с моделью позволяют получить оценки многих характеристик сети, проверить качество работы отдельных устройств, проверить влияние помех на производительность сети и т. п. Рассмотрим кратко наиболее известные примеры симуляторов.

В настоящее время широко известен сетевой пакетный симулятор NS-2, большинство модулей которого написано

на языке С++. Симулятор представляет собой ПО с открытым кодом для анализа посредством моделирования цифровых сетей с пакетным переключением (www.cs.tut.fi/~yk/ns2ru).

Симулятор NS-3 (www.nsnam.org) также является программным пакетом из открытого ПО. Он используется преимущественно для исследований и обучения. Симулятор реализует многие реальные протоколы и среды передачи данных. Однако NS-3 не поддерживает динамические изменения сетевой топологии.

Симулятор Cisco Packet Tracer (www.cisco.com) помогает в рамках заранее выбранного набора промоделированных устройств решать многочисленные задачи исследования и совершенствования СПД, создавать макеты сетей, проверять варианты топологий, но не позволяет включать при необходимости новое оборудование или новые протоколы. Это ограничивает функциональность имитируемых устройств и плохо описывает реальные СПД.

Симулятор NetSim (www.boson.com) является проприетарным инструментом, имитирующим сети, построенные с помощью оборудования Cisco. Цель симулятора — обучение студентов.

Симулятор OMNeT++ включает модули, которые комбинируются в программный пакет с использованием специального высокоуровневого языка NED (Network Definition). Основная проблема симулятора OMNeT++ заключается в трудоемкости отладки и верификации модулей, написанных на С++.

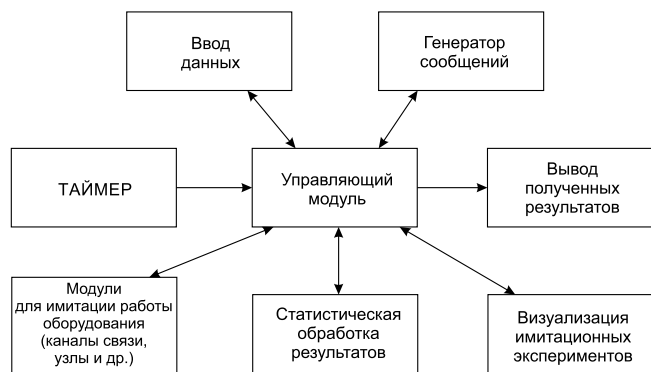
Таким образом, широко известные сетевые пакетные симуляторы помогают решать многочисленные задачи исследования и совершенствования телекоммуникационных систем. Однако они не предназначены для имитации динамических свойств сети.

Структура сетевого пакетного симулятора, учитывающего динамические свойства сети

Детальное описание первого варианта модели, принимающей во внимание динамические свойства сети, сделано в статье [2]. Этот вариант модели реализован с помощью языка С++ на ПЭВМ и создал основу для подробной реализации модели, воспроизводящей динамическую структуру телекоммуникационной сети. Результаты моделирования в среде Microsoft Visual Studio 13 приведены в [3].

Динамические свойства сети воспроизводятся в процессе моделирования с помощью процедуры дискретизации пространства вариантов топологии сети во времени и включения в текущую запись, описывающую топологию сети, последовательно отказов и восстановлений отдельных каналов и вершин сети [2]. Управляющая программа для формирования сетевого фрагмента получает информацию о начальной топологии фрагмента компьютерной сети с заданной топологией из файла исходных данных. Процедура дискретизации может выполняться как с постоянным, так и с переменным временным интервалом согласно методу модельных событий. Процедура дискретизации может быть основана на реальной статистике отказов в каналах и узлах сети. Это существенно увеличит адекватность имитационной модели.

Алгоритм моделирования, принимающий во внимание динамические свойства сети, дополняется вычислитель-



Программные модули сетевого пакетного симулятора, учитывающего динамические свойства сети

ным циклом, выполняющим действия по изменению сетевой топологии, связанные с нарушениями в узлах и каналах сети и восстановлением узлов и каналов сети после ремонта [2, 3]. В первой версии модели цикл организован с использованием метода фиксированных интервалов для продвижения модельного времени.

Работа алгоритма начинается с ввода первого и затем последующих сообщений. Сообщение может быть нулевым для упрощения обработки. Специальные процедуры и специальные формы описания топологии фрагмента сети позволяют определить узлы и каналы для передачи сообщения. Для упрощения рассматривается только движение от начала сетевого фрагмента к его концу. После моделирования передачи данных по выбранному каналу связи определяется номер вершины для определения маршрута продолжения передачи сообщения.

При достижении первого сообщения конечной вершины сетевого фрагмента процедура передачи повторяется до исчерпания всего множества сообщений. Таким образом, величина фиксированного интервала времени для метода фиксированных интервалов принимается равной времени передачи одного сообщения от начала до конца фрагмента сети.

Комбинация программных модулей для сетевого пакетного симулятора, учитывающего динамические свойства сети для передачи данных, показана на рисунке.

Управляющий модуль является ядром программного пакета. Этот модуль последовательно подключает требуемые функциональные модули согласно развитию во времени процесса передачи сообщений в СПД.

Программный модуль «Ввод данных» устанавливает параметры отдельных устройств и состав конкретной комбинации устройств СПД и свойства элементов сети в процессе передачи данных. «Генератор сообщений» имитирует передаваемую полезную информацию и обеспечивает максимальную, минимальную и среднюю скорости передачи и другие характеристики, может объединяться с управляющим модулем или функционировать отдельно от него.

Топология сети и условия передачи данных в каналах и узлах связи могут изменяться во времени согласно вы-

бранному методу продвижения модельного времени, то есть через фиксированные промежутки времени или по методу модельных событий. Эти изменения имитируются в модулях для моделирования различных видов каналов, узлах связи и в других элементах оборудования. Для имитации помех в каналах связи разрабатываются специальные программные модули, генерирующие потоки ошибок различной природы в каналах передачи данных. Потоки ошибок накладываются на потоки полезной информации. Компьютерная сеть и реальные потоки информации имитируются с помощью такой комбинации. Модули для имитации различных узлов компьютерной сети имитируют состояние узлов согласно статистике, собранной в реальных сетях.

Программный модуль «Таймер» выполняет имитацию временных интервалов между отдельными событиями, которые происходят в процессе передачи информации в сети. Он синхронизируется с системным временем.

Модуль «Вывод полученных результатов» определяется конкретной реализацией управляющего модуля, программного таймера и других программ пакета.

Результаты имитационных экспериментов обрабатываются для построения графиков функций распределения, оценок средних значений выбранных переменных и т.п. в модуле «Статистическая обработка результатов». Визуализация имитационных экспериментов представлена во многих системах программирования. Она дополняет статистические исследования и позволяет быстрее обнаружить алгоритмические ошибки.

Заключение

Предварительное моделирование СПД с учетом динамических свойств сети, описанное в [2, 3], позволяет предложить структуру программного пакета для сетевого пакетного симулятора, принимающего во внимание динамические свойства сети. Подробный анализ и выбор моделей, анализ алгоритмов для разработки программных модулей позволят построить программный пакет для реализации сетевого пакетного симулятора, открывающего путь для разработки инструмента, необходимого для оценки характеристик СПД или ее фрагмента, функционирующего в условиях большой нагрузки.

Список литературы

1. Pellicer-Lostao C., Morato D., Popez-Ruiz R. Modelling user's activity in a real-world complex network // International Journal of Computer Mathematics, Bristol, Taylor and Francis Publishers. 2008. V. 85, Issue 8. P. 1287-1298.
2. Antonova G.M. Simulation of Information Flow on Transport Layer of Open System Interconnection-Model // Proceeding of 8th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Cardiff, Wales, United Kingdom. 2013. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Product Number E5073.
3. Antonova G.M., Makarov V.V. Simulation of Data Communication System Taking Into Account Dynamic Properties // Proceeding of 9th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Oulu, Finland. 2016. The Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Антонова Галина Михайловна — д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник ИПУ РАН,
Титов Андрей Петрович — канд. техн. наук, заведующий кафедрой МФЮА.
Контактный телефон (495) 334-90-50.