

## СЕТЕВОЙ ПАКЕТНЫЙ СИМУЛЯТОР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕТИ СВЯЗИ

Г.М. Антонова, А.П. Титов (Москва)

### Введение

Создание динамической модели сети связи – актуальная задача современного этапа развития компьютерного моделирования. Необходимо тестирование новых протоколов, формирование решений по выбору оптимальной архитектуры, подбор выгодных топологий для реализации новых сетевых решений и др. Существует много интересных разработок программных систем для программного обеспечения моделирования. Однако полное решение проблемы создания динамической модели сети связи все ещё отсутствует. Хорошая модель функционирования системы передачи данных (СПД) поможет получить оценки работы служб для различных структур сети в условиях изменяющихся помех, отказов или возвратов в рабочее состояние элементов сети. Для СПД, работающих с большими потоками информации [1], пользователи должны знать временные характеристики сети и значение коэффициента готовности, сочетающиеся с растущей нагрузкой в заданных временных рамках. К ним относятся такие характеристики сети, как коэффициент готовности сети, полоса пропускания сети, среднее время передачи сообщения или пакета, вариации задержки, вероятность потери сообщения или пакета и др. Предварительное определение оценок качества функционирования СПД требуется как для проектирования, так и для прогнозирования функционирования, особенно если сеть подвержена большим нагрузкам. В дополнение к методам экспертных оценок может быть использовано имитационное моделирование как инструмент уточнения возможности и качества решения задач, назначенных СПД в процессе конструирования.

Цель работы состоит в обосновании выбора модулей программного обеспечения для моделирования динамических свойств сети связи. Процессы в СПД имеют очень высокую скорость. Даже совершенные компьютерные модели не способны имитировать реальные процессы в оборудовании для передачи данных для того, чтобы отследить изменения текущих характеристик во времени. Однако обобщенные интегральные характеристики сети, упомянутые выше, могут быть успешно исследованы, если будет создана адекватная модель. Имитационные эксперименты позволяют проверить, какие изменения в значениях характеристик происходят в условиях, встречающихся в реальных сетях, и проверить пригодность СПД для внедрения.

### Инструменты современного моделирования сети связи

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 с помощью проблемно-ориентированных языков. Такие модели создавались на ЭВМ всех предыдущих поколений и могут быть созданы на всех современных ЭВМ. Они 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 значительное количество статистической информации для описания стохастических закономерностей, управляющих поведением элементов передающей системы, и дающих возможность построения адекватной модели. Эта статистическая информация включает знание законов распределения параметров сигнала в условиях помех, временных задержек в распространении сигналов и распределений длин этих задержек, статистику нарушений процедур обработки сигналов при передаче и приеме, информацию о точности выполнения протоколов передачи и т.п. 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 выделился 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 связи, но выполнена не в пространстве, а на компьютере или 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. Сетевой пакетный симулятор обеспечивает исследователя воспроизводимым окружением, управляемым программистами. Он может быть использован для определения зависимости эффективности протоколов и процедур для управления сетью от различных факторов. 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 программное обеспечение с открытым кодом для анализа посредством моделирования цифровых сетей с пакетным переключением (<http://www.cs.tut.fi/~yk/ns2ru/>). Он имеет широкое применение и продолжает поддерживаться. Некоторые модели из симулятора NS-2 перенесены в симулятор NS-3.

Симулятор NS-3 (<https://www.nsnam.org/>) также является программным пакетом из открытого программного обеспечения. Он используется преимущественно для исследований и обучения. Симулятор реализует многие реальные протоколы и среды передачи. Он имитирует функционирование реальной сети и поддерживает действия в реальном времени. Однако NS-3 не поддерживает динамические изменения сетевой топологии. Представление сетевой топологии и событий, происходящих в имитируемой сети, реализуется в виде программ на С++ или Python.

Симулятор Cisco Packet Tracer ([https://www.cisco.com/c/ru\\_ua/training-events/netacad/training-courses/cisco-packet-tracer.html](https://www.cisco.com/c/ru_ua/training-events/netacad/training-courses/cisco-packet-tracer.html)) 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, если необходимо, новое оборудование или новые протоколы. Это ограничивает функциональность имитируемых устройств и плохо описывает реальные СПД.

Симулятор NetSim (<http://www.boson.com/netsim-cisco-network-simulator>) является проприетарным симулятором, который имитирует сети, построенные с помощью оборудования Cisco. Цель симулятора состоит в обучении студентов, проходящих CCNA сертификацию или CCNP сертификацию.

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 C++.

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 C++ на ПЭВМ и создал основу для подробной реализации модели, воспроизводящей динамическую структуру телекоммуникационной сети.

Результаты моделирования в среде Microsoft Visual Studio 13 приведены в статье, опубликованной в трудах Конгресса Eurosim 9 [3]. Они позволяют проверить предложенный алгоритм моделирования динамических свойств сети и создают основу для дальнейшего развития предлагаемой компьютерной модели.

Динамические свойства воспроизводятся в процессе моделирования с помощью процедуры дискретизации пространства вариантов топологии сети во времени и включения в текущую запись, описывающую топологию сети, последовательно как отказов отдельных каналов и вершин сети, так 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 временным интервалом  $\Delta t$ , 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.

В статьях [2,3] рассмотрена работа моделирующего алгоритма, проанализированы структурные схемы алгоритмов для статического варианта имитационной модели и для динамического варианта имитационной модели. Для алгоритма моделирования, принимающего во внимание динамические свойства сети, в структурной схеме алгоритма появляется дополнительный цикл вычислений. В этом цикле выполняются действия по изменению сетевой топологии, связанные с нарушениями в узлах и каналах сети и восстановлением узлов и каналов сети после ремонта. 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 по выбранному каналу связи определяется номер вершины для определения маршрута продолжения передачи сообщения.

После достижения 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 рис. 1.

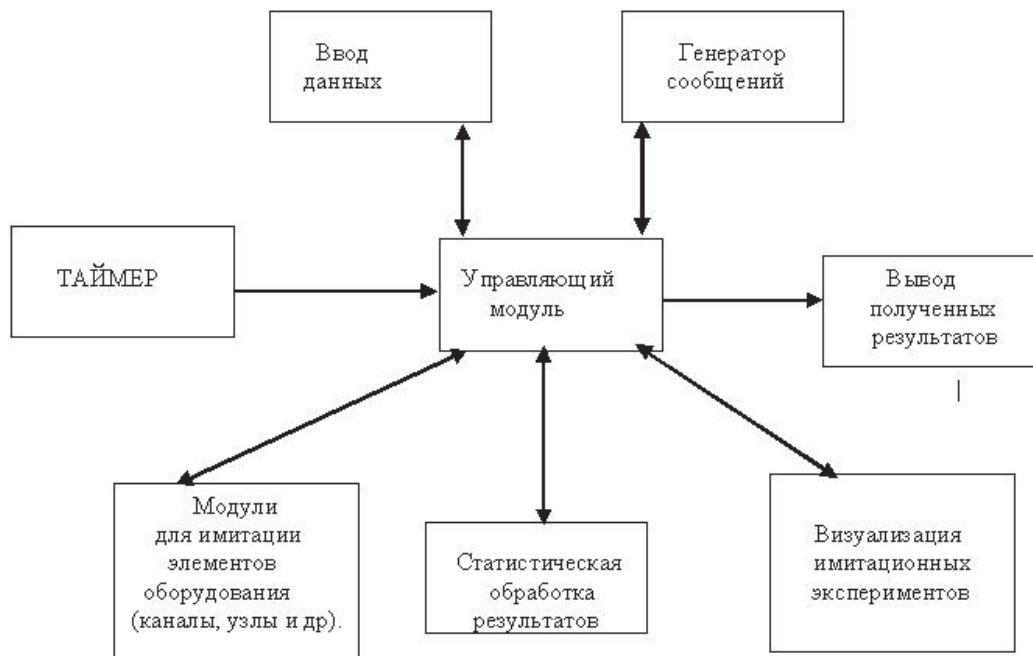


Рис. 1. Предлагаемая композиция программных модулей для сетевого пакетного симулятора, учитывающего динамические свойства сети

Управляющий модуль является основным модулем программного пакета. Его структура будет определять качество и производительность программного пакета. Этот модуль будет последовательно подключать требуемые модули из отдельных групп модулей 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.

Программный модуль Генератор сообщений, который 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 выбранному методу продвижения модельного времени, т.е. через фиксированные промежутки времени или по методу модельных событий. Эти изменения имитируются в модулях для моделирования различных видов каналов, узлов связи и в других элементах оборудования. Для того чтобы проимитировать помехи в каналах связи, должны быть разработаны специальные программные модули для генерации потоков ошибок в каналах различной природы. Они необходимы для того, чтобы проимитировать передачу информации в отдельных каналах сети. 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. В программе, описанной в статье [3], таймер построен с использованием системного времени и множественных потоков событий.

Модуль Вывод полученных результатов определяется конкретной реализацией Управляющего модуля, программного модуля ТАЙМЕР и других программ пакета.

Результаты имитационных экспериментов могут быть обработаны 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 учётом 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 её фрагмента, функционирующего в условиях большой нагрузки.

### Литература

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, Vol. 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. 10-13 September 2013. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Product Number E5073. ISBN: 978-0-7695-5073-2978-0-7695-5073-2.
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. 12-16 September 2016. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN: 978-1-5090-4119-0/16978-1-5090-4119-0/16.