УДК 519.876.5

АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАФИКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПАНИИ

И.А. СИДОРЕНКО
И.В. СОЛДАТОВ

Белгородский государственный университет

e-mail: sidorenko@bsu.edu.ru

Одним из наиболее эффективных методов исследования трафика телекоммуникационных систем является компьютерное имитационное моделирование. Существующие подходы к моделированию самоподобного трафика не обладают достаточной гибкостью для построения адекватных имитационных моделей мультисервисных сетей доступа. В статье рассматривается агентный метод моделирования трафика сети доступа, который обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими методами моделирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование, самоподобность трафика сети связи, агентное моделирование, трафик сети доступа, программа AnyLogic.

Введение

Для телекоммуникационной компании важно иметь возможность обосновать направление своего развития с точки зрения расширения количества и качества предоставляемых услуг. Каждая из предоставляемых услуг потенциально создает различную интенсивность нагрузки. При этом клиенты, получающие однотипные услуги в силу своего различия по возрасту, по видам профессиональной деятельности, принадлежности к тем или иным социальным группам, очевидно, будут создавать различную нагрузку на телекоммуникационную систему. Общее число активных клиентов также является случайной нестационарной величиной, и прогнозировать в этих условиях характер нагрузки с достаточной для практики точностью становится очень сложно. Отсутствие точных оценок параметров нагрузки, то есть трафика, затрудняет оптимизацию состава сетевого оборудования и приводит к упущенной коммерческой выгоде. Очевидно, что *задача исследования параметров трафика телекоммуникационной компании, предоставляющей одновременно несколько видов услуг, является актуальной.*

Постановка задачи

Наиболее эффективным способом исследования процессов, происходящих в телекоммуникационных системах, является компьютерное имитационное моделирование. До 80-х годов XX века основным видом услуг, который предоставлялся абонентам, была телефония. При моделировании телефонных систем связи для описания входного трафика применялся простейший поток, задаваемый семейством вероятностей $P_i(t)$ поступления i ($i = 0...\infty$) вызовов в промежутке времени t. Вероятность поступления i вызовов для простейшего потока за отрезок времени t определяется известной *формулой Пуассона* [6, 8]:

$$P_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}, \qquad (1)$$

где λ – параметр потока, характеризующий интенсивность поступления вызовов.

Формула Пуассона с достаточной для практики точностью описывает телефонную нагрузку и поэтому успешно применялась при проектировании и моделировании телефонных систем связи. Однако с появлением персональных компьютеров и, особенно, услуг мультимедиа, характер трафика в телекоммуникационных сетях изменился коренным образом. На практике, при анализе нагрузки в компьютерных сетях с пакетной коммутацией, было замечено, что в трафике присутствуют пачки пакетов и наблюдаются долговременные зависимости, поэтому трафик уже не может быть корректно описан с помощью закона Пуассона. В 90-х г.г. было установлено, что трафик в

современных сетях связи имеет фрактальную структуру и более точно задается случайным самоподобным процессом [1– 3, 5, 8].

Основными отличительными свойствами самоподобного трафика являются [3]:

1. Медленное убывание дисперсии при увеличении периода наблюдения;
2. Наличие долгосрочной зависимости (последействия);
3. Флуктуационный характер спектра мощности.

Математически дискретный самоподобный процесс определяется следующим образом: Пусть задан временной процесс $X=\{X_n, n\in Z^+\}$. Определим другой временной процесс $X^{(m)}=\{X_n^{(m)}, n\in Z^+\}$, который назовем *агрегированным*, полученный путем усреднения временного процесса X на непересекающиеся соседствующие блоки длиной m:

$$X_n^{(m)} = \frac{1}{m}\sum_{i=nm-(m-1)}^{nm} X_i \ . \qquad (2)$$

Существует два класса самоподобных процессов: так называемые точно самоподобные и асимптотически самоподобные процессы.

Процесс X называется точно самоподобным с параметром β ($0<\beta<1$) если для $m\in Z^+$ выполняются условия (3) и (4).

• дисперсия $Var[X^{(m)}] = \dfrac{Var[X]}{m^{\beta}}$; (3)

• функция автокорреляции $R(k, X^{(m)}) = R(k, X)$. (4)

Параметр β связан с параметром Херста H следующим соотношением:

$$\beta = 2(1-H) \ . \qquad (5)$$

Существует другой класс самоподобных процессов – так называемых асимптотически самоподобных процессов. Процесс X называется асимптотически самоподобным, если для больших k, при $m\to\infty$ выполняются условия (6) и (7).

• дисперсия $Var[X^{(m)}] = \dfrac{Var[X]}{m^{\beta}}$; (6)

• функция автокорреляции $R(k, X^{(m)}) \to R(k, X)$. (7)

Наиболее точным свойством самоподобных процессов является то, что функция автокорреляции не вырождается при $m\to\infty$, в отличие от стохастических процессов, где $R(k, X^{(m)}) \to 0$ при $m\to\infty$.

Для оценивания степени самоподобия трафика в сети был введен параметр Херста (Hurst), обозначаемый буквой «H». Значение H=0.5 означает отсутствие самоподобности, а значения H близкие к 1 соответствуют высокой степени самоподобия. Исследование трафика реальных мультисервисных сетей показывают, что значение параметра Херста находится в диапазоне 0.7 – 0.85.

Для оценивания параметра Херста существует ряд методов: метод абсолютных моментов, оценка Виттла, метод периодограмм, оценка Хилла и др. Все они отличаются друг от друга по сложности вычислений и точности получаемого результата. Метод абсолютных моментов дает достаточно точные результаты при невысоком объеме вычислений. Методика проверки следующая: исходная последовательность X с длинной N разделяется на блоки с длиной m. На границах блока последовательность имеет среднее значение, определяемое формулой (8).

$$\overline{X}(k) = \frac{1}{m}\sum_{i=(k-1)m+1}^{km} X_i, \ k = 1,2,\ldots,[N/m]. \qquad (8)$$

Для каждого блока необходимо рассчитать дисперсию $X^{(m)}$ и математическое ожидание $\overline{X}$ для всей последовательности. После этого для каждого блока определяется момент n:

$$D_n^{(m)} = \frac{1}{N/m}\sum_{k=1}^{N/m}\left|X^{(m)}(k) - \overline{X}^n\right|. \qquad (9)$$

В данном выражении n=1 (абсолютное среднее значение). Далее строится график в логарифмическом масштабе – зависимость абсолютных моментов для последовательности от m. После чего по найденным точкам рассчитывается аппроксимирующая прямая по методу минимального среднеквадратического отклонения от экспериментальных данных. Далее необходимо найти угол наклона аппроксимирующей прямой β. По полученному значению β можно найти коэффициент самоподобности H=1– β.

Необходимо, чтобы длина каждого блока и число блоков были большими. Если последовательность – это не процесс с медленно изменяющейся зависимостью, то наклон аппроксимирующей линии будет равен 0.5. Если процесс самоподобен, тогда наклон линии будет меньше чем 0.5.

Таким образом, для моделирования трафика современных телекоммуникационных систем рекомендуется использовать ***самоподобные случайные процессы***.

Анализ литературы показывает, что существуют два основных подхода в моделировании самоподобных процессов:

1. Метод на основе использования ***Броуновского движения*** [1].

2. Метод ***Мандельброта***, предусматривающий использование нескольких независимых ON-OFF источников, у которых закон чередования включенного и выключенного состояний распределен по ***закону Парето*** [4].

Плотность распределения Парето задается функцией вида:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{\beta}{x}\right)^{\alpha+1}, \text{ при } x>\beta \text{ и } \alpha>0. \qquad (10)$$

Здесь: α – параметр формы, характеризующий, будет ли распределение иметь конечное или бесконечное среднее и дисперсию;

β – параметр нижней границы (минимальное значение случайной величины x).

Соотношение между параметром α и параметром Херста H задается формулой:

$$H = \frac{3-\alpha}{2}. \qquad (11)$$

Благодаря простоте задания параметра Херста метод Мандельброта получил наибольшее распространение при моделировании самоподобных случайных процессов.

Указанные выше методы моделирования позволяют получить реализации случайного самоподобного процесса с любой фиксированной степенью самоподобия, однако известно, что интенсивность нагрузки, создаваемой сетью доступа, существенно изменяется в течение суток. Это обусловлено различной активностью клиентов, получающих как одинаковые, так и различные услуги. Рекомендаций по выбору конкретных значений параметра Херста H в зависимости от вида и количества предоставляемых телекоммуникационных услуг в настоящее время нет, поэтому применение метода Мандельброта для генерирования трафика мультисервисной сети доступа возможно только для получения приближенных оценок интенсивности нагрузки. Следовательно, для построения адекватной имитационной модели сети доступа, задания одного параметра Херста не достаточно, а необходимо обеспечить учет динамического изменения нагрузки в течение суток, имеющего место на практике. Поэтому, *актуальной научной задачей* является разработка такого способа построения имитационной модели сети доступа, которая бы позволила исследовать степень самоподобности входного трафика в телекоммуникационных сетях, полученного с учетом реально предоставляемых клиентам видов услуг.

Для построения имитационных моделей используются различные программные продукты, главным требованием, для которых является возможность не только создавать сложные модели, но и варьировать их параметрами в процессе моделирования.

Проведенный анализ программных средств позволил сделать вывод о перспективности программной среды ***AnyLogic*** ™ – продукта компании XJ Technologies, в которой реализованы все последние достижения в области имитационного моделирования, в том числе и новый метод – ***агентное моделирование***. Программа AnyLogic™, в отличие от других, дает возможность сделать процесс моделирования наглядным и интерактивным, что важно для понимания связи исходных параметров модели и эффекта вызванного их изменением [7].

Цель *статьи состоит в исследовании возможности адекватного моделирования трафика телекоммуникационной компании в среде AnyLogic™ 5.4.*

Моделирование трафика сети связи в среде AnyLogic

С целью проверки функциональных возможностей программной среды AnyLogic была построена модель датчика самоподобного трафика на основе метода Мандельброта, структура которой представлена на рис. 1. Модель состоит из 50 ON-OFF источников с распределением Парето, которые имитируют активность абонентов.

Рис. 1. Структура модели Мандельброта в AnyLogic

С помощью построенной модели был проведен ряд экспериментов, результаты которых совпали с выводами, полученными в источниках [2, 5]. На рис.2 приведены реализации сгенерированного трафика, которые подтверждают его пачечный характер.

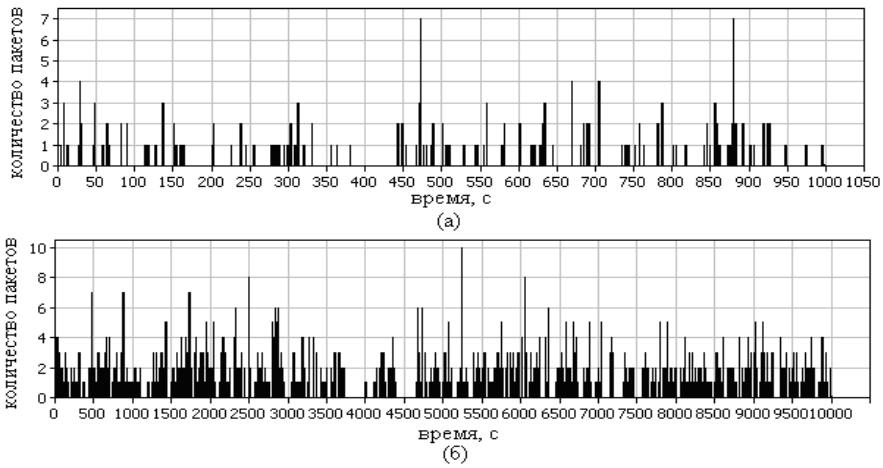

Рис. 2. Трафик, сгенерированный в AnyLogic с помощью модели Мандельброта

Однако такой подход к моделированию трафика обладает указанным выше недостатком – невозможностью учета реальной активности абонентов, получающих различные услуги. В частности, данный метод не позволяет изменять важнейшие параметры источников нагрузки, такие как средний объем данных передаваемых в единицу времени, максимально возможная скорость передачи данных, распределение интенсивности нагрузки в течение суток и т.п. Это делает модель неадекватной с точки зрения предоставляемых услуг и является принципиальным недостатком данного способа моделирования.

Для устранения этих недостатков была разработана другая модель, реализованная на основе ***агентного метода моделирования***. Агентное моделирование связано с понятием агент. *Агент* — это некоторая сущность, которая обладает активностью,

автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, может взаимодействовать с окружением и другими агентами, а также может изменяться (эволюционировать) [5]. Цель построения агентных моделей — получить представление об общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе.

В разработанной модели (рис. 3) имеется 3 группы агентов. Агентами в данной модели являются абоненты телекоммуникационной компании, которым предоставляются различные типы телекоммуникационных услуг, поэтому они создают различную интенсивность нагрузки. Признаком деления абонентов на группы послужила пропускная способность линии связи, которая соединяет их терминальное оборудование с концентратором. Это может трактоваться, например, как использование трех различных тарифных планов обслуживания с фиксированной максимальной скоростью передачи данных или как предоставление различных видов услуг. Поведение агентов в каждой группе задается набором характеристик: максимальной скоростью передачи данных, средним объемом передаваемого трафика за сутки, характером активности абонента в течение суток. Абоненты работают независимо друг от друга, но по общим правилам той группы, в которую они включены. Число абонентов или групп в модели может задаваться в зависимости от реальной ситуации в телекоммуникационной компании.

Необходимо также отметить, что используемый тарифный план – это не единственный возможный признак образования групп в модели. Благодаря широким возможностям агентного метода моделирования абоненты также могут быть сгруппированы по иным признакам (возрасту, профессиональной деятельности и т.п.), что, в свою очередь, даст возможность более детально учесть в модели особенности в поведении абонентов и, соответственно, позволит получить более точные результаты.

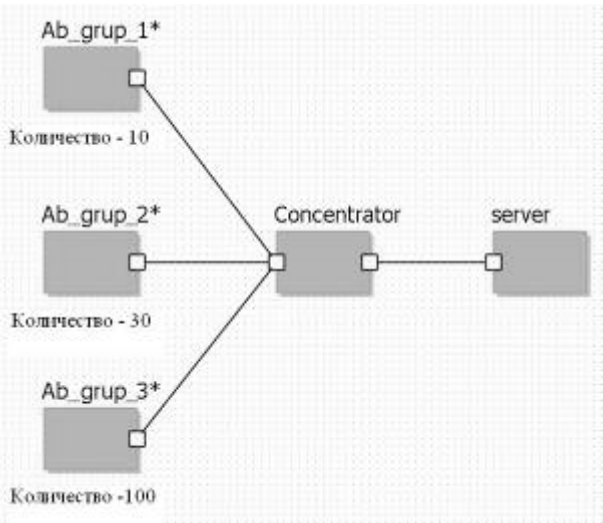

Рис.3. Структура агентной модели в AnyLogic

Ниже представлены реализации трафика, полученного с помощью агентной модели за одни (рис. 4 а) и за трое (рис. 4 б) модельных суток.

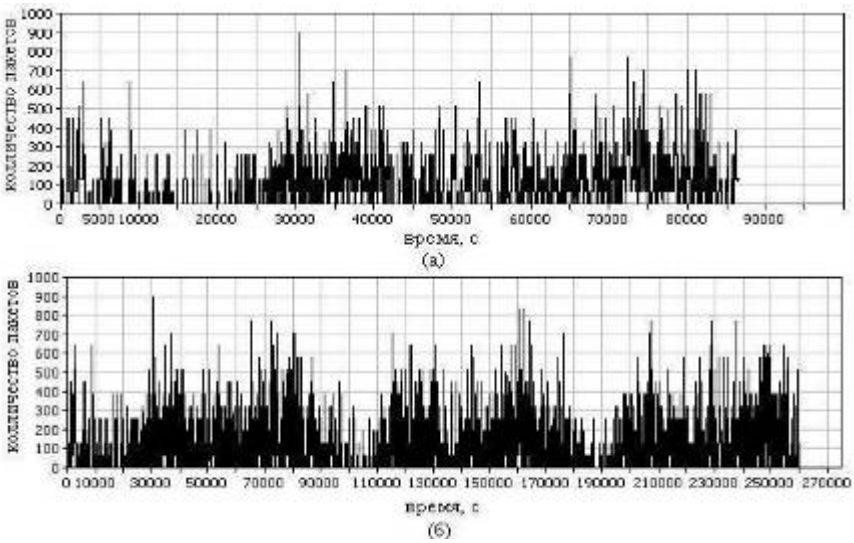

Рис. 4. Трафик, полученный с помощью агентной модели

Из анализа рис.4 видно, что трафик также как и в модели Мандельброта обладает пачечным характером, однако заметна зависимость интенсивности нагрузки от времени суток. Предварительный анализ результатов моделирования показал, что трафик обладает свойством самоподобия, а параметр Херста имеет значение не ниже 80. Построенная модель позволяет исследовать степень изменения самоподобности трафика при варьировании параметрами модели – видом и количеством предоставляемых клиентам телекоммуникационной компании услуг, что может представлять интерес для теории телетрафика. Прагматическая значимость результатов моделирования сети доступа обусловлена возможностью более точного прогнозирования динамических параметров нагрузки, что позволит телекоммуникационной компании оптимизировать структуру и состав коммутационного оборудования и, в конечном итоге, решить две самые сложные задачи: обеспечить требуемое качество обслуживания клиентов и не упустить финансовую выгоду.

Для примера были проведены два эксперимента. В первом (рис. 5): фиксировалось число абонентов каждой из групп, и подбиралась пропускная способность соединительной линии «концентратор-сервер» так, чтобы вероятность блокировки не превышала 2%.

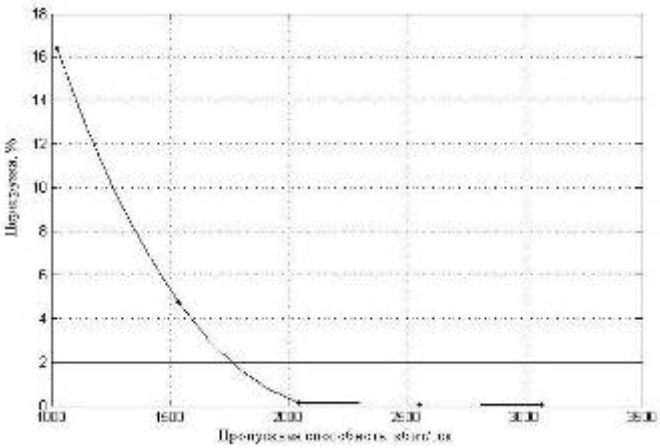

Рис. 5. График зависимости перегрузки от пропускной способности соединительной линии «концентратор – сервер»

Во втором эксперименте, моделировалась противоположная задача – фиксировалась пропускная способность соединительной линии «концентратор-сервер» и определялось максимально возможное число абонентов каждой из групп так, чтобы ве-

роятность блокировки также не превышала 2%. Для примера на рис.6 показан результат моделирования для первой группы абонентов.

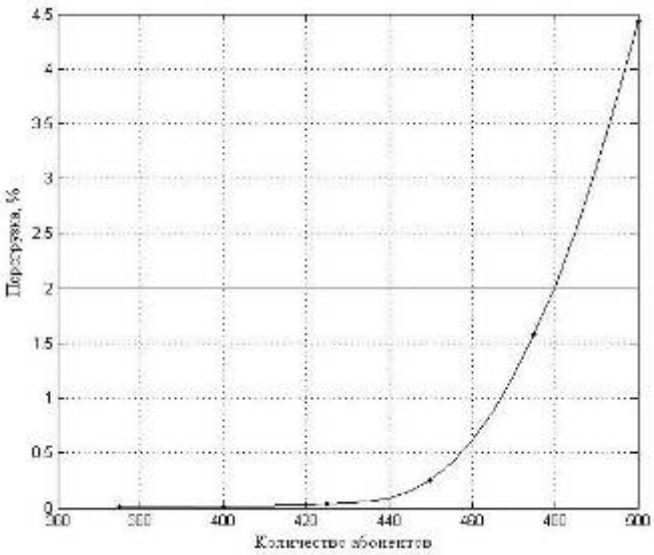

Рис. 6. График зависимости перегрузки от количества абонентов первой группы

Эти эксперименты не исчерпывают всего потенциала агентного моделирования, а лишь приводят примеры его возможностей для решения типовых задач теории телетрафика.

Выводы

1. Существующий подход к моделированию трафика в современных телекоммуникационных сетях, основанный на методе Мандельброта, позволяет получить самоподобный случайный процесс, однако реализуемая таким образом модель является неадекватной с точки зрения учета параметров реального трафика.

2. Адекватная имитационная модель мультисервисной сети доступа телекоммуникационной компании может быть реализована на основе метода агентного моделирования, что позволяет исследовать параметры трафика с учетом реального количества и вида предоставляемых услуг, обеспечить более точное прогнозирование интенсивности нагрузки.

3. Программная среда AnyLogic™ на основе метода агентного моделирования позволяет создавать адекватные имитационные модели телекоммуникационных систем, с возможностью задания произвольных характеристик источников информации и оценки степени самоподобности трафика. Это, в свою очередь, делает возможным для телекоммуникационной компании обосновывать требуемые параметры коммутационного оборудования системы связи, в зависимости от числа потенциальных абонентов, вида предоставляемых им услуг и требуемых характеристик качества обслуживания.

Литература

1. Jeong, H.-D. J. Fast Self-Similar Teletraffic Generation Based on FGN and Wavelets [Текст] / H.-D. J. Jeong, D. McNickle, K. Pawlikowski // IEEE ICON'99. –1999.
2. Kulikovs, M. Packet Loss Probability Dependence on Number of ON-OFF Traffic Sources in OPNET [Текст] / M. Kulikovs, E. Petersons // ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING. – 2008. – №5.
3. Leland, W.E. On The Self-Similar Nature Of Ethernet Traffic [Текст] / W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger, D.V. Wilson // ACM SIGCOMM'93. – 1993.
4. Mandelbrot, B.B. A Fast Fractional Gaussian Noise Generator [Текст] / B.B. Mandelbrot // Water Resources Research . – 1971. – №7.
5. Ulanovs, P. Modeling Methods of Self-similar Traffic for Network Performance Evaluation [Текст] / P. Ulanovs, E. Petersons // Scientific Proceedings of RTU. – Series 7. – Telecommunications and Electronics. – 2002.

6. Вишневский, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей [Текст] / В.М. Вишневский. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
7. Карпов, Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] / Ю. Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.: ил.
8. Крылов, В.В. Теория телетрафика и ее приложения [Текст] / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.: ил.

AGENT BASED MODELING OF THE TRAFFIC TO TELECOMMUNICATION COMPANY

I.A. SIDORENKO
I.V. SOLDATOV

Belgorod State University

e-mail: sidorenko@bsu.edu.ru

One of the most efficient methods of the study of the traffic of the telecommunication systems is computer simulation modeling. The existing approaches to modeling self-similar traffic do not possess sufficient flexibility for building of the identical simulation models multi-service networks of the access. In article is considered agent based method of modeling of the traffic to network of the access, which possesses beside advantage in contrast with existing methods of modeling.

Key words: simulation modeling, self-similar traffic of telecommunications, agent based modeling, the traffic to network of the access, application AnyLogic.