DOI: 10.17117/na.2016.02.02.371

Поступила (Received): 29.02.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.02.02.371.pdf>

Кутузов О.И., Татарникова Т.М.
Модель поступлений в самоподобном трафике

Kutuzov O.I., Tatarnikova T.M.
The model generator of self-similar traffic

В статье рассматривается модель поступлений в самоподобном трафике, позволяющая оценить и сопоставить в первом приближении характеристики классических и фрактальных систем массового обслуживания

Ключевые слова: самоподобный трафик, пульсирующая структура трафика, ON/OFF-модель, долговременная зависимость, распределения с тяжелыми «хвостами», распределение Парето

Кутузов Олег Иванович

Доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет им. В.И.
Ульянова
г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5

Татарникова Татьяна Михайловна

Доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического приборостроения
г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67

The article considers the model of self-similar traffic generator that allows to measure and compare in a first approximation the classical and fractal characteristics of queueing systems

Key words: Self-Similar Traffic, bursty traffic pattern, ON/OFF-model, long-term relationship, distribution with heavy "Tails", Pareto distribution

Kutuzov Oleg Ivanovich

Doctor of Engineering Sciences, Professor
Saint Petersburg electrotechnical university named
V.I. Uljanov
Saint-Petersburg, Professora Popova st., 5

Tatarnikova Tatiana Mikhailovna

Doctor of Engineering Sciences, Professor
Saint-Petersburg state university of aerospace
instrumentation
St. Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67

Исследования последних полтора десятка лет доказывают, что сетевой трафик по своей природе является самоподобным (self-similar) или фрактальным (fractal) [1]. К фрактальным свойствам, характеризующими трафик обычно относят такие понятия, как «медленно затухающие дисперсии», «долговременная зависимость» [2, с. 46].

Особенностью самоподобного трафика является устойчивость кластеризации. Традиционные модели пакетного трафика являются кратковременно зависимыми, то есть имеют экспоненциально затухающие корреляции. Данные самоподобного трафика проявляют долговременную зависимость и имеют гиперболически затухающие корреляции. Самоподобность в математическом смысле является геометрическим понятием. Оно подчеркивает то, что модели, описывающие разные типы трафика могут иметь одинаковую структуру,

задаваемую разномасштабными пульсациями. Понятие пульсирующей структуры трафика часто используется именно в этом контексте [1, 2, с. 47].

Адекватное описание самоподобного трафика определяется распределениями вероятностей с тяжелыми хвостами. Ограниченные возможности применения точных и приближенных аналитических методов приводят к необходимости имитационного моделирования (ИМ). При этом ИМ сопряжено с рядом специфических вычислительных проблем, обусловленных стохастическим характером отклика ИМ и необходимостью корректной обработки этого отклика [3, 4].

При моделировании самоподобного трафика необходимо отразить присутствие долговременных зависимостей в трассах трафика и его пульсирующую (самоподобную) структуру на многих масштабах времени. Оба эти эффекта могут моделироваться пиковым процессом. Пик подразумевает длительный поток блоков данных, например пакетов или ячеек, которые вбрасываются в сеть отдельным пользователем, например при передаче данных по FTP-протоколу. Длина пика при этом описывается распределениями с тяжелыми хвостами [5].

Для описания компьютерного сетевого трафика широко используется чередующийся фрактальный возобновляющийся процесс, известный как ON/OFF-модель, или модель серии пакетов (рис. 1).

Рис. 1. Стандартный фрактальный возобновляющийся процесс (а) и фрактальный ON/OFF-процесс (б)

Известно, что любой источник поступлений определяется двумя состояниями: активным периодом (ON-период), когда источник передает пакеты, и пассивным – когда источник ничего не передает (OFF-период). Каждый переход от состояния OFF к состоянию ON соответствует поступающему пакету или серии пакетов. Продолжительности того или иного состояния являются независимыми одинаково распределенными и не обязательно одинаковыми для периодов ON и OFF. На практике при моделировании источников распределение OFF-периодов часто полагают экспоненциальным, а для ON-периодов наиболее часто используется распределение Парето [2, с.48, 5].

Распределение Парето определяется функцией распределения в виде

$$F(x) = 1 - \left(\frac{K}{x} \right)^{\alpha}, \quad x \geq K, \quad (1)$$

где α – параметр формы,

K – граничный параметр, задающий минимальное значение случайной величины x , и по сути является масштабным коэффициентом.

Математическое ожидание и дисперсия случайной величины, распределенной по Парето, определяются выражениями (2) и (3) соответственно.

$$M(x) = \frac{\alpha K}{\alpha - 1}, \quad (2)$$

$$D(x) = \frac{\alpha K^2}{(\alpha - 1)^2 (\alpha - 2)}. \quad (3)$$

Если $\alpha > 1$, то математическое ожидание конечно, дисперсия конечна только при $\alpha > 2$.

Распределение Парето имеет «хвост» $P(x > t) = 1 - F(t)$:

$$1 - F(t) = 1 - \left[1 - \left(\frac{K}{t} \right)^\alpha \right] = \left(\frac{K}{t} \right)^\alpha \propto t^{-\alpha}.$$

Как видно, при любых значениях K и α скорость убывания «хвоста» распределения Парето степенная. Далее распределение Парето будем обозначать в виде $Pa(K, \alpha)$.

Кроме математического ожидания и дисперсии полезной характеристикой случайной величины x при моделировании очередей является квадрат ее коэффициента вариации C_x . Для $x \in Pa(K, \alpha)$ из (2) и (3) находим:

$$C_x^2 = \frac{D(x)}{M^2(x)} = \frac{\alpha K^2}{(\alpha - 1)^2 (\alpha - 2)} \frac{(\alpha - 1)^2}{(\alpha K)^2} = \frac{1}{\alpha(\alpha - 2)}.$$

Коэффициенты вариации (точнее, их квадраты) являются мерой разброса значений для интервалов поступления заявок и интервалов их обслуживания. Чем эти коэффициенты больше, тем большего значения средней длины очереди $L(\rho)$ следует ожидать при фиксированной нагрузке ρ .

Таким образом открытие фрактальных свойств у трафика инфокоммуникационных сетей привело к радикальной корректировке математических моделей трафика и методов его обслуживания. При описании и анализе фрактального трафика стали широко применяться такие математические понятия как самоподобный случайный процесс, долговременная зависимость, распределения с тяжелыми хвостами [5, 6].

Общих результатов аналитического анализа фрактальных СМО не существует. Известны лишь отдельные результаты для частных случаев. Исследование свойств распределений с тяжелыми хвостами посредством имитационного моделирования показывает, что такие распределения реализуются в общем случае со значительными искажениями. Это может приводить к существенным ошибкам в результатах моделирования фрактальных систем с очередями [6].

Список используемых источников:

1. Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 368 с.
2. Костромицкий А.И. Волотка В.С. Подходы к моделированию самоподобного трафика // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. №46. С. 46-49.

3. Курузов О.И., Сергеев В.Г., Татарникова Т.М. Коммутаторы в корпоративных сетях. Моделирование и расчет. СПб.: Судостроение, 2003. 170 с.
4. Курузов О.И., Татарникова Т.М. Моделирование систем и сетей телекоммуникаций. СПб.: РГГМУ, 2012. 134 с.
5. Курузов О.И., Татарникова Т.М. Инфокоммуникационные сети. Моделирование и оценка вероятностно-временных характеристик. СПб.: ГУАП, 2015. 382 с.
6. Курузов О.И., Татарникова Т.М. Математические схемы и алгоритмы моделирования инфокоммуникационных систем. СПб.: ГУАП, 2013. 148 с.

© 2016, Курузов О.И., Татарникова Т.М.
 Модель поступлений в самоподобном трафике

© 2016, Kutuzov O.I., Tatarnikova T.M.
 The model generator of self-similar traffic