

Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный университет радиозлектроники
Академия наук прикладной радиозлектроники

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

1-й Международной конференции « ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ »

в рамках 3-го Международного радиозлектронного форума «Прикладная радиозлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2008

Том III

30 сентября - 3 октября 2008г.

Харьков - Судак
2008

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЬНОНЕЛИНЕЙНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Карпугин А.В., Кириченко Л.О., Мачехин Ю.П., Радвиллова Т.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

61166, Харьков, пр. Ленина, 14, e-mail: kav-102@yandex.ru

Researches which were conducted the last years proved that even in the networks of Ethernet there are the phenomena of selfsimilarity. Anymore noticeable these phenomena in the optical networks of speeds. It was experimentally shown that reason of these phenomena is a conduct and properties of TCP protocol.

Appeared, that in the conditions of selfsimilar traffic the methods of calculation of network (to the carrying capacity of channels, capacity of buffers and etc.), based on markovian models and formulas of Erlang's, which with success are used for planning of telephones networks, give unjustified optimistic decisions and result in the underestimation of loading. It is necessary to notice that the theory of selfsimilar traffic passes the early stage of the development relatively.

Введение

В детерминированных динамических системах могут развиваться синергетические процессы, такие как возникновение пространственно-временных регулярных структур или хаотичного поведения. В информационных системах, которые работают с предельно большими скоростями передачи данных, наблюдаются нерегулярные режимы спонтанного изменения скорости передачи данных. В таких системах возможные режимы работы, при которых пропускная способность системы становится равной нулю.

Исследования, которые были проведены в последние годы, доказали, что даже в сетях Ethernet возникают явления самоподобия (self-similarity). Еще больше заметны эти явления в скоростных оптических сетях. Экспериментально было показано, что причиной этих явлений является поведение и свойства протокола TCP.

Оказалось, что в условиях самоподобного трафика методы расчета компьютерной сети (пропускной способности каналов, емкости буферов и пр.), основанные на марковских моделях и формулах Эрланга, которые с успехом используются при проектировании телефонных сетей, дают неоправданно оптимистические решения и приводят к недооценке нагрузки. Следует заметить, что теория самоподобного трафика проходит относительно раннюю стадию своего развития.

1. Проблема самоподобия трафика [1-4]

Современные сети построены на основе принципа "усреднения". Согласно статистике, множество потоков данных со случайными вариациями плотностей дадут в результате некий усредненный трафик. К сожалению, этот идеалистический подход не работает в сетях, склонных к проявлению мощных пиковых выбросов. Такие своеобразные, локализованные во времени "столпотворения" (congestions) вызывают значительные потери пакетов, даже когда суммарная потребность всех потоков далека от максимально допустимых значений. Это губительно сказывается на эффективности использования пропускной способности сетей.

Классическая пуассоновская модель трафика, которая использовалась при проектировании сетевых протоколов, не отражает реальной действительности: данные реального сетевого трафика обладают свойством самоподобия.

Возвращаясь к теме сетевого трафика, исследователи отметили одинаковость распределений исходного и агрегированного процессов (при больших N), измерили параметр H (параметр Херста), названный так в честь британского климатолога Херста, и обнаружили, что последний для сетевого трафика находится в интервале $(0.5, 1)$. На качественном уровне такой самоподобный трафик имеет постоянный взрывной характер на многих масштабах временной оси.

2. Основные свойства самоподобных процессов [1, 2, 4, 5]

Наиболее интересная черта самоподобных процессов — медленное убывание автокорреляционной функции агрегированного процесса $X^{(m)}$ при $m \in \Gamma$, в отличие от распространенных стохастических моделей

$$r_m(k) \in O(m \in \Gamma, k \in N)$$

Многочисленные измерения сетевого трафика показали, что он лучше всего описывается так называемыми распределениями с тяжелыми хвостами (PTX, heavy-tailed).

Среди PTX наиболее часто используется распределение Парето. Основное свойство случайной величины, распределенной в соответствии с PTX, состоит в том, что она проявляет высокую изменчивость. Иными словами, выборка из PTX представляет собой большей частью относительно небольшие значения, однако также содержит и достаточное количество очень больших значений.

Появление и широкое распространение компьютерных сетей (глобальных — в 70-х годах 20 столетия, локальных — в начале 80-х годов), а также увеличение количества разнообразных сетевых услуг (www, iPhone и т.д.) привело к тому, что сетевой трафик стал более сложным и непредсказуемым. Особенно сильно эти свойства стали проявляться с появлением технологий высокоскоростной передачи данных. Это связано с тем, что одним из основных показателей качества (QoS) работы сетей с пакетной передачей является количество потерянных пакетов. Потеря пакетов приводит к дополнительной нагрузке на сеть и, в конечном счете, к «заторам» (congestions). При больших скоростях передачи данных потери пакетов, выражающиеся в долях процента, приводят к значительным потерям информации.

В последующих многочисленных работах, посвященных исследованию сетевого трафика, было показано, что указанные выше явления связаны со свойствами самоподобия трафика.

В последние 10-15 лет проблеме самоподобия сетевого трафика было посвящено большое число работ. Их можно условно разделить на две группы. Первая (и самая обширная) включает в себя работы, в которых авторы анализируют сетевой трафик и определяют его статистические характеристики. Источником анализируемых данных является либо натурный эксперимент (например, [1]), либо моделирование с помощью программных средств (например, ns, OPNET [3]).

Ко второй группе относятся работы (к сожалению, немногочисленные), в которых авторы рассматривают информационную систему как динамическую систему, в которой самоподобие является внутренним свойством самой системы [4]. Авторами использовался метод восстановления многомерных траекторий, который состоит в использовании смещенных во времени отсчетах значений трафика двух TCP-соединений $(x[i], y[i])$ в n точках.

Как видно из рисунка, в системе наблюдаются периодические движения, причем на левом рисунке движение простое, а на правом более сложное. Эти траектории представляют собой простые аттракторы.

При определенных значениях параметров в системе наблюдаются хаотические движения. В данном случае аттрактор системы является странным аттрактором.

В этой же работе было вычислено значение так называемой экспоненты Ляпунова ($l \gg 1.11$), что говорит о том, что траектории двух систем расходятся по экспоненциальному закону. Это подтверждает наличие хаотического режима.

В работах многих исследователей отмечается, что агрегированный сетевой трафик является самоподобным (или фрактальным) [1, 4]. Очевиден и тот факт, что сам TCP является первичной причиной самоподобия и его поведение может иметь нежелательные последствия в компьютерных сетях при увеличении пропускной способности глобальных вычислительных сетей (WAN) до значений, выражающихся в нескольких гигабайтах в секунду. В частности, даже если трафик, генерируемый

Выводы

Вопросы хаотического поведения информационных систем с высокими скоростями передачи данных еще недостаточно изучены, несмотря на то, что наблюдаемые в них эффекты существенно влияют на характеристики таких систем (например, значительные потери пакетов в TCP-соединениях). Однако, до сих пор не существует математических моделей, позволяющих не только провести анализ поведения информационных систем с большой нелинейностью, но также дать рекомендации по проектированию таких систем, обладающих минимумом отрицательных свойств в плане производительности.

Единственно правильный путь, на наш взгляд, состоит в том, чтобы описывать информационные системы с высокими скоростями передачи данных, использующие протоколы TCP/IP, как нелинейные динамические системы. В этом случае есть возможность применить весь арсенал классических методов анализа поведения таких систем, разработанный Пуанкаре, Ляпуновым, Биркгофом и т.д. Речь идет о качественном анализе поведения динамических систем в фазовом пространстве, что дает возможность определить все возможные режимы движения (работы) системы, а также определить значения параметров, при которых в системе наблюдаются нежелательные хаотические явления (потери пакетов, снижение производительности). Эти вопросы являются актуальными в первую очередь для ISP (провайдеров Internet), которые, к сожалению, до сих пор не обращают на них должного внимания.

Литература

1. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., and Wilson D.V. On the self-similarity of ethernet traffic // IEEE/ACM Transactions on Networking, 2(1), 1994. .P. 1-15
2. Митилино С. Фрактальная катастрофа TCP/IP // Компьютерное Обозрение, 2001, № 9.
3. Столлингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. // Питер. СПб. 2003. 784 с.
4. Vern Paxson and Sally Floyd, Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 3 No. 3, pp. 226-244, June 1995.
5. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография // Под ред. О.И.Шелухина - М.: Радиотехника, 2003.- 480 с.