Электросвязь, 2018, №3.

Рубрика «Сети связи»

Оценка роста интенсивности входящего трафика

В.Ю. Гойхман, генеральный директор ООО «НТЦ СОТСБИ», к.т.н.; vg@sotsbi.ru

А.К. Леваков, технический директор МРФ «Центр» ПАО «Ростелеком», к.т.н.; levak66@mail.ru

М.А. Маршак, начальник лаборатории ООО «НТЦ СОТСБИ»; m_marshak@mail.ru

Н.А. Соколов, главный научный сотрудник ЛО ЦНИИС, д.т.н.; sokolov@niits.ru

УДК 621.391

Аннотация. Обсуждается метод оценки роста интенсивности входящего трафика, поступающего в узел коммутации, на основе наблюдения за характером третьей производной соответствующего процесса. Если доступны результаты измерений в виде дискретных значений, следует вычислять конечные разности третьего порядка. Предлагаемый подход позволяет прогнозировать резкий рост трафика и принимать решения для поддержки приемлемого качества обслуживания мультисервисного трафика.

Ключевые слова: *интенсивность, заявка, трафик, узел коммутации, конечная разность, прогнозирование, качество обслуживания.*

ВВЕДЕНИЕ

Эволюция телекоммуникационных сетей ставит новые задачи, решение которых требует развития классических методов исследования объектов или процессов. В полной мере данное утверждение относится и к методам теории телетрафика, применяемым при планировании телекоммуникационных сетей, а также в процессе их технической эксплуатации.

Трафик сетей телефонной и телеграфной связи хорошо изучен благодаря ряду причин, среди которых следует выделить три фактора. Во-первых, измерения этих видов трафика проводятся более ста лет. Во-вторых, были разработаны эффективные математические методы исследования. В-третьих, изменения трафика, обусловленного коммуникативными потребностями или реакцией на неординарные события, предсказуемы с приемлемой для практики точностью.

Мультисервисный трафик, представленный в виде IP-пакетов, еще «молод» с исторической точки зрения, но полученные результаты его исследования показали, что специалисты столкнулись с новыми сложными научными задачами. Одна из них связана с ростом, подчас очень существенным, интенсивности входящего трафика. Подобные процессы в сетях телефонной и телеграфной связи наблюдаются только при возникновении чрезвычайных ситуаций [1, 2], а также в некоторые праздничные дни.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Известно, что в телекоммуникационных сетях в отдельные периоды времени интенсивность входящего потока заявок (общее понятие и для вызовов, и для IP-пакетов), обозначаемая обычно как $\lambda(t)$, резко возрастает. Мониторинг поведения функции $\lambda(t)$ осуществляется путем измерения ее значений за короткие отрезки времени τ. Тогда исследуемую функцию уместно записать через преобразование Лапласа-Стилтьеса в виде [3]:

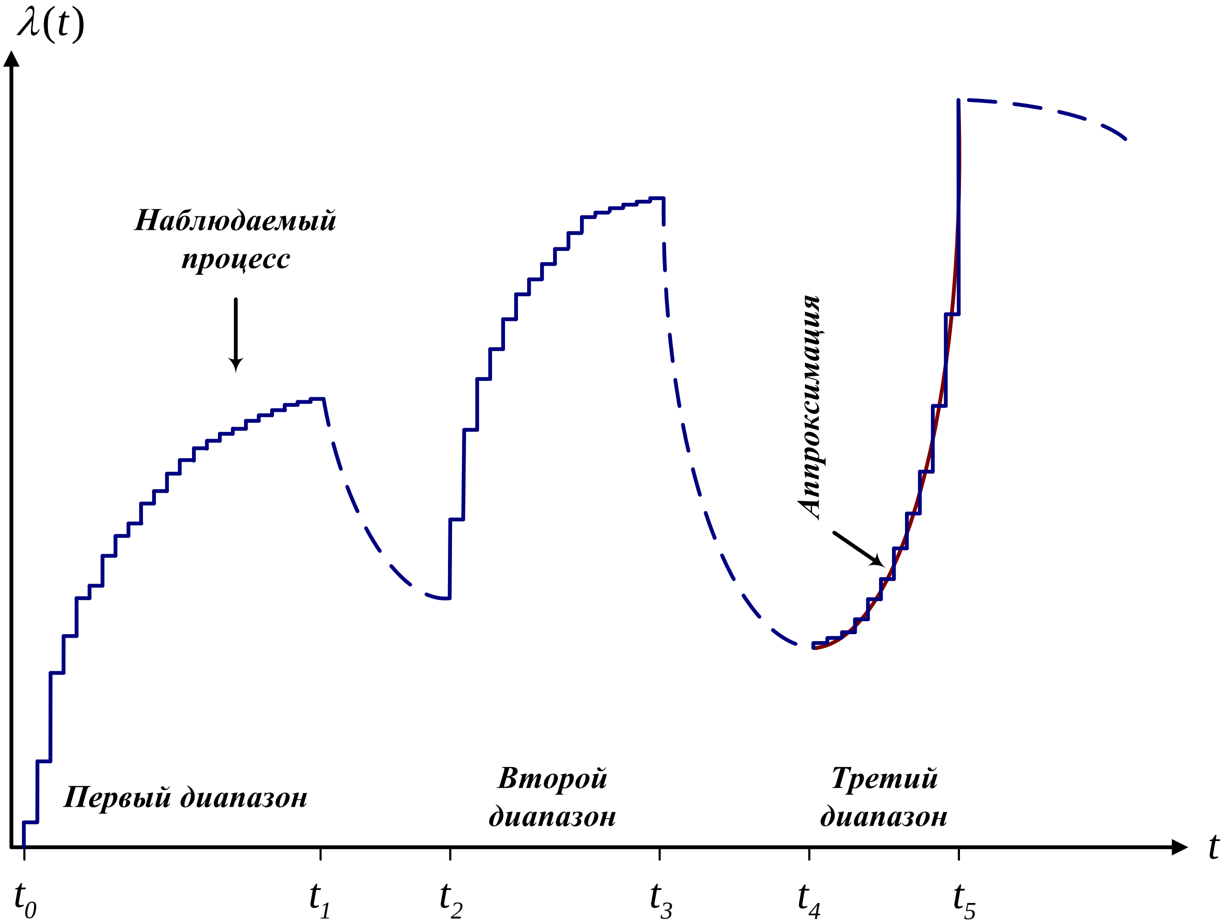
$$\lambda^*(s) = \sum_{i=0}^{N} h_i e^{-i\tau s}.$$

Величина h_i определяет изменение функции $\lambda(t)$, зафиксированное в точке $i\tau$. Предел суммирования N указывает на общее количество измеренных величин h_i. В границах интервала вида $[i\tau, (i+1)\tau)$ изменением функции $\lambda(t)$ можно пренебречь. На основании этого утверждения и выбирается численное значение величины τ.

Резкий рост интенсивности входящего потока заявок в телекоммуникационной сети подобен рывку в кинематике [4]. Если воспользоваться такой аналогией, то для оценки возможных резких изменений функции $\lambda(t)$ следует анализировать характер ее третьей производной – $\lambda^{(3)}(t)$. Получить третью производную функции $\lambda(t)$ можно разными методами. Один из самых простых способов заключается в аппроксимации наблюдаемого процесса полиномом степени m в диапазоне изменений функции, равном $K\tau$. Очевидно, что $K \le N$. Значение K выбирается так, чтобы в диапазоне $K\tau$ наблюдался рост функции $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) \approx \sum_{j=0}^{m} a_j t^j.$$

Значения коэффициентов a_j и предел суммирования m вычисляются методом наименьших квадратов [5], как показано на рисунке. Характер изменения функции $\lambda(t)$ выбран условно. Он позволяет определить три диапазона вида $K\tau$: (t_0, t_1), (t_2, t_3) и (t_4, t_5). При решении практических задач наибольший интерес представляет отрезок времени, для которого характерен самый резкий рост функции $\lambda(t)$. В рассматриваемом примере им становится диапазон (t_4, t_5).



Выбор диапазона для исследований функции $\lambda(t)$

Практически значимая задача заключается в прогнозировании такого характера поведения функции $\lambda(t)$, который требует применения алгоритма ограничения количества заявок, поступающих на вход узла коммутации (УК), или принятия иных мер. Разработку метода решения поставленной задачи уместно начать с рассмотрения гипотетической ситуации для диапазона $\left(t_4, t_5\right)$.

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Предположим, что функция $\lambda(t)$ на отрезке времени $\left(t_4, t_5\right)$ представлена одной из четырех непрерывных кривых $f_i(t)$:

$$f_1(t) = a_0 + a_1 t; \quad f_2(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2;$$
$$f_3(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3; \quad f_4(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4.$$

Третья производная каждой функции характеризует «рывок», определяющий возможное изменение трафика:

$$\frac{\partial^3 f_1(t)}{\partial t^3} = 0; \quad \frac{\partial^3 f_2(t)}{\partial t^3} = 0; \quad \frac{\partial^3 f_3(t)}{\partial t^3} = 6a_3; \quad \frac{\partial^3 f_4(t)}{\partial t^3} = 6a_3 + 24a_4 t.$$

Рост третьей производной присущ только функции $f_4(t)$. Это означает, что если увеличение трафика характеризуется полиномом, в котором есть слагаемое четвертой степени или выше, то весьма вероятна перегрузка УК. Здесь надо акцентировать внимание на следующем обстоятельстве: рост третьей производной, зафиксированный в момент времени $i\tau$, может прекратиться в точке $(i+1)\tau$, а потом возобновиться. Важной проблемой становится алгоритм принятия решений, что следует рассматривать как предмет самостоятельного исследования.

На практике не всегда удается удачно аппроксимировать функцию $\lambda(t)$ полиномом. Проще анализировать конечные разности [6], т.е. данные, получаемые из величин h_i, которые измеряются с периодом τ. Такой подход исключает ошибки, обусловленные аппроксимацией. Степень влияния подобного рода ошибок на конечный результат оценить очень сложно.

Пусть шесть отсчетов функции $f(t)$, взятых с интервалом τ, образуют ряд: 0, 2, 7, 20, 99, 1000, из которого несложно вычислить конечные разности трех порядков. Результаты расчета представлены в виде так называемой диагональной таблицы разностей.

Диагональная таблица разностей

t	$f(t)$	$\Delta f(t)$	$\Delta^2 f(t)$	$\Delta^3 f(t)$
0	0			
		2		
τ	2		3	
		5		5
2τ	7		8	
		13		58
3τ	20		66	
		79		846
4τ	99		912	
		991		
5τ	1000			

Величины $\Delta^3 f(t)$, представляющие собой конечные разности третьего порядка, образуют возрастающую последовательность. Такой характер полученной последовательности в определенном смысле эквивалентен росту третьей производной, что позволяет сделать вывод об устойчивом возрастании исследуемой величины. Таким образом, условие, при котором вероятен резкий рост трафика, может быть сформулировано в такой редакции:

$$b_1 \le b_2 \le \ldots \le b_l, \quad b_1 < b_l, \tag{1}$$

где $i = \overline{1, l}$.

В неравенстве (1) b_i определяет численное значение конечной разности третьего порядка, а l – количество членов ряда, полученных в результате обработки исходных данных. Неравенство $b_1 < b_l$ подчеркивает следующее требование: некоторые соседние члены выражения (1) могут быть идентичными, но в целом последовательность $b_1, b_2, \ldots, b_l$ должна возрастать.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Идея использования конечных разностей третьего порядка для оценки роста трафика сформировалась в результате поиска решения аналогичных задач в других дисциплинах. В частности, подобные вопросы рассматривались в работах по кинематике. Иными словами, был задействован междисциплинарный подход [7], по праву считающийся одним из перспективных направлений перспективных научных исследований. С этой точки зрения уместно упомянуть о классе задач, для решения которых используются конечные разности или производные четвертого, пятого и шестого порядка.

Вычисление конечных разностей третьего порядка представляет интерес для развития методов прогнозирования, применяемых при исследовании телекоммуникационных систем [8]. Для создания различных профилей пакетного трафика предлагаемый подход был использован при реализации генератора трафика [9]. Он формирует поток IP-пакетов с произвольными характеристиками, имеющими практический смысл. Фактически генератор трафика для некоего i-го эксперимента создает поток заявок $\lambda(t)$ в соответствии с моделью Тьюки-Хубера [10]:

$$\lambda(t) = (1-\varepsilon_i)\lambda_i(t) + \varepsilon_i\xi_i(t).$$

Слагаемое $\lambda_i(t)$ позволяет описать ожидаемое поведение исследуемого процесса. Величина ε_i определяет вероятность, с которой на фоне ожидаемого процесса происходит резкий рост трафика по закону $\xi_i(t)$. Именно для функции $\xi_i(t)$ интересны различные свойства конечных разностей третьего порядка. В результате генератор трафика позволяет экспериментально установить способность узла коммутации или телекоммуникационной сети в целом справляться с существенным ростом трафика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рост третьей производной той функции, которая характеризует повышение интенсивности трафика, представляется логичным критерием, позволяющим выявлять перегрузку в отдельных компонентах телекоммуникационных сетей. Вместе с тем предложенный критерий вряд ли стоит считать единственным.

Предложенный подход, основанный на вычислении конечных разностей третьего порядка, может использоваться в сочетании с другими методами оценки роста интенсивности трафика и алгоритмами управления сетями электросвязи. В частности, перспективным представляется его совместное применение с алгоритмами гистерезисного управления [11].

Авторы считают, что развитие подхода, изложенного в данной статье, позволит решить ряд важных практических задач, которые относятся к проектированию сетей электросвязи и их технической эксплуатации.

Список литературы

1. **Леваков А.К.** Результаты моделирования работы сети NGN при существенном росте трафика. Ч. I // Электросвязь. – 2012. – № 7. – С. 32–34.

2. **Леваков А.К.** Результаты моделирования работы сети NGN при существенном росте трафика. Ч. II // Электросвязь. – 2012. – № 8. – С. 24–25.

3. **Диткин В.А., Прудников А.П.** Интегральные преобразования и операционное исчисление. – М.: Наука, 1974. – 544 с.

4. **Кирсанов М.Н.** Решения задач по теоретической механике. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 216 с.

5. **Самарский А.А., Гулин А.В.** Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

6. **Гельфонд А.О.** Исчисление конечных разностей. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 400 с.

7. **Моисеев Н.Н.** Избранные труды. В 2-х томах. Т. 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. Публицистика и общественные проблемы. – М.: Тайдекс Ко, 2003. – 264 с.

8. **Vanston L.K., Hodges R.L.** Technology forecasting for telecommunications // Telektronikk, Vol. 100, No. 4, 2004, pp. 32–42.

9. **Goichman V., Esalov K., Sokolov N.** Using specialized computer systems to study the characteristics of telecommunication networks // Proceedings of the FRUCT'18 Saint-Petersburg, Russia, 18-22 April 2016 ITMO University, Saint-Petersburg, Russia. – FRUCT Oy, Finland, pp. 456–462.

10. **Huber P.** Robust Statistics. – Wiley, 1981. – 308 p.

11. **Красносельский М.А., Покровский А.В.** Системы с гистерезисом. – М.: Наука, 1983. – 272 с.

Получено 20.02.18