УДК 621.314.26

С.Н. ГОРЯЕВА

АЛГОРИТМЫ СОВМЕСТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА ВЫЗОВОВ

Постановка задачи

Сетевой трафик, а соответственно процессы в телекоммуникационных сетях носят нестационарный случайный характер, что приводит к необходимости иметь соответствующий запас сетевого ресурса ибо рано или поздно возникают перегрузки. Создание сетей на максимальную нагрузку не является рациональным, поэтому на практике находят различные механизмы предотвращения перегрузок. Одним из конструктивных механизмов, принятым в первых сетевых технологиях, были алгоритмы управления перегрузками и очередями в маршрутизаторах, основанные на отбрасывании пакетов при переполнении буфера. Такой подход приводит к неизбежной потери качества услуг, информационным потерям. Более рациональными оказались методы активного управления очередью, суть которых состоит в превентивном прореживании, а затем и в отбрасывании или маркировке пакетов в маршрутизаторе при достижении определенных уровней наполнения буфера.

Возникает задача обнаружения достижения заданной границы, потоком заявок на обслуживание. Данная задача формулируется как задача проверки сложных статистических гипотез. Она сводится к синтезу алгоритма обнаружения и оценки изменений интенсивности поступающего потока пакетов λ при условии постоянства обработанного потока μ. Предположение о постоянстве μ основывается на заданной производительности маршрутизатора или иного устройства обработки заявок.

Решение задачи

Для определения будем считать, что модель потока заявок является локально-стационарной и на интервалах стационарности этот поток аппроксимируется пуассоновским случайным законом:

$$p_i(\lambda) = \frac{\lambda^i}{i!} e^{-\lambda}, \tag{1}$$

где $\lambda > 0$ – интенсивность, параметр распределения, $i = 1,2,\ldots,N$ (N – общее число запросов, поступающих на обработку на интервале анализа $[0,T]$), $\sum_i^N t_i = T$.

В определенный момент $t_0 \in [0,T]$ может произойти плавное превышение или скачок интенсивности входящих вызовов. Таким образом, для данной задачи определим два возможных состояния нагрузки, которые описываются допустимыми гипотезами [1]:

H_0 – интенсивность входящих вызовов на интервале наблюдения $[0,T]$ сохраняет значение, не превышающее некоторое известное значения λ_0:

$$\lambda(t) \le \lambda_0; \tag{2}$$

H_1 – интенсивность входящих вызовов на интервале наблюдения $[0,T]$ превышает уровень λ_0:

$$\beta(t) = \lambda_0 + \lambda(t - t_0). \tag{3}$$

Параметры λ, β и t_0 априорно неизвестны и подлежат оценке.

Обозначим через $\vec{t} = (t_1, t_2, \ldots, t_N)$ выборку моментов возникновения запросов. По результатам обработки статистики $\vec{t} = (t_1, t_2, \ldots, t_N)$ необходимо получить решение в пользу одной из гипотез H_0, H_1 и оценить параметры:

- интенсивности λ – в случае решения в пользу гипотезы H_0;

- интенсивности до и после скачка λ, β и момента возникновения скачка t_0 – в случае принятия решения в пользу гипотезы H_1.

Для определения правила обнаружения воспользуемся критерием минимума вероятности ошибки пропуска при заданном уровне вероятности ложного обнаружения. Для оценки параметров используем метод максимального правдоподобия.

Для принятой пуассоновской модели процесса вызовов отношение правдоподобия представляется в виде

$$\frac{\max\limits_{\lambda,\beta,t} P\left(\vec{t} \mid H_1,\lambda,\beta,t\right)}{\max\limits_{\lambda} P\left(\vec{t} \mid H_0,\lambda\right)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{\gtrless}} \Pi . \tag{4}$$

где

$$P\left(\vec{t} \mid H_0,\lambda\right) = \lambda^N e^{-\lambda T} . \tag{5}$$

$$P\left(\vec{t} \mid H_1,\lambda,\beta,t\right) = \lambda^{n(t)} e^{-\lambda(t)t} \beta^{N-n(t)} e^{-\beta(T-t)} \tag{6}$$

– функционалы правдоподобия (условные плотности вероятности времени достижения), $n(t)$ – число заявок, поступивших в буфер до момента времени t, Π – порог, который выбирается исходя из заданной вероятности ложного обнаружения интенсивности.

После логарифмирования получаем условную плотность распределения для гипотезы H_0 [2]:

$$L_0\left(\vec{t} \mid \lambda_0\right) = -\lambda_0 T + N \ln \lambda_0 . \tag{7}$$

Для альтернативы имеем:

$$L_0\left(\vec{t} \mid \lambda_0,\lambda\right) = -\lambda_0 T - \lambda T\left(\frac{T}{2} - t_0\right) + \sum_{i=1}^{n} \ln\left(\lambda_0 + \lambda\left(t_i - t_0\right)\right) \tag{8}$$

Одновременное обнаружение сигналов и оценивание неизвестных параметров обеспечивается при максимизации условных плотностей (функционалов правдоподобия) по параметрам λ и λ,β,t. После этого следует сравнить их отношение с порогом Π. Необходимые оценки параметров, называемые обобщенными оценками максимального правдоподобия могут быть получены после вынесения решения в пользу одной из гипотез:

$\hat{\lambda} = arg \max\limits_{\lambda} P\left(t \mid H_0,\lambda\right)$ – в случае принятия решения в пользу гипотезы H_0,

$\left(\hat{\lambda},\hat{\beta},\hat{t}\right) = arg \max\limits_{\lambda\beta t} P\left(t \mid H_1,\lambda,\beta,t\right)$ – в случае принятия решения в пользу гипотезы H_1.

Искомая оценка параметров определяются из уравнений:

$$\frac{\partial P\left(\vec{t} \mid H_0,\lambda\right)}{\partial \lambda} = 0 . \tag{9}$$

Производная выражения (5) является оценкой максимального правдоподобия неизвестного параметра λ_0:

$$\frac{dL_0\left(\vec{t} \mid \lambda_0\right)}{d\lambda_0} = -T + \frac{N}{\lambda_0} . \tag{10}$$

здесь

$$\lambda_0 = \frac{N}{T}. \tag{11}$$

Тогда

$$\hat{L}_0\left(\vec{t}\right) = -N + N\ln\frac{N}{T}. \tag{12}$$

Искомая оценка параметров для гипотезы H_1 определяются из уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial P\left(\vec{t} \mid H_1, \lambda, \beta, t\right)}{\partial \lambda} = 0 \\ \dfrac{\partial P\left(\vec{t} \mid H_1, \lambda, \beta, t\right)}{\partial \beta} = 0 \end{cases} \tag{13}$$

При незначительном появлении нестационарности можно полагать, что динамическая составляющая интенсивности на интервале анализа $|\lambda T| / \lambda_0 << 1$. Необходимые оценки можно получить из выражения:

$$\begin{cases} \lambda_0 = \dfrac{N}{T} \\ \lambda = \dfrac{t_0 - T/2}{D_t} \cdot \dfrac{N}{T} \Big/ \left(1 + \dfrac{T}{2} \cdot \dfrac{(t_0 - T/2)^2}{D_t}\right) \end{cases} \tag{14}$$

где $D_t = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(t_i - t_0)^2$ – выборочная дисперсия моментов потока на интервале анализа, T – значение параметра, определяющего момент предполагаемого скачка интенсивности.

Приближенное выражение для максимума логарифма условной плотности распределения при справедливости альтернативы H_1 с учетом выражений (8), (14) имеет вид

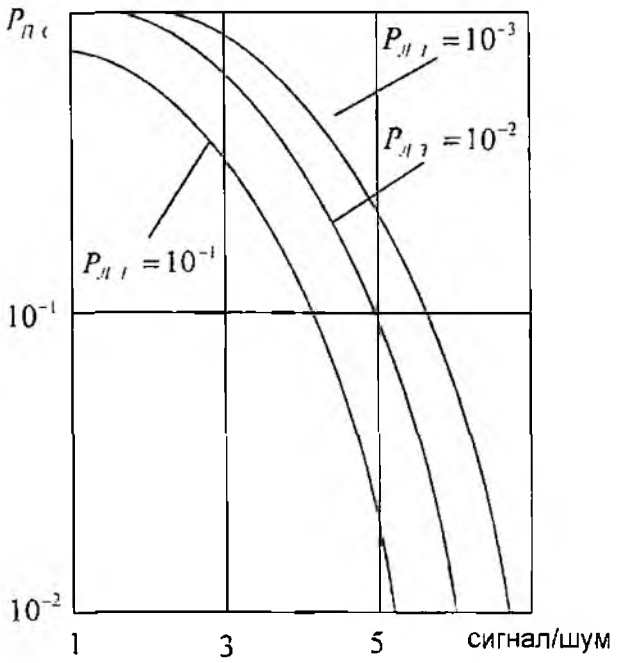
$$\hat{L}_1\left(\vec{t}\right) \approx -N + N\ln\frac{N}{T} + \frac{N}{2}\frac{\left(T/2 - t_0\right)^2}{D_t} \tag{15}$$

Таким образом, правило обнаружения изменения интенсивности потока, отвечающего выбранному критерию оптимальности, состоит в сравнении логарифма отношения правдоподобия с порогами (6) и (7):

$$\frac{\max\limits_{t} P_m\left(\vec{t} \mid H_1, t\right)}{P_m\left(\vec{t} \mid H_0\right)} = \hat{L}_1\left(\vec{t}\right) - \hat{L}_0\left(\vec{t}\right) = \frac{\left(\dfrac{T}{2} - \dfrac{1}{N}\sum\limits_{i=1}^{N} t_i\right)^2}{\left(t_i - \dfrac{1}{N}\sum\limits_{j=1}^{N} t_j\right)^2} \underset{H_0}{\overset{H_1}{\gtrless}} \Pi. \tag{16}$$

В зависимости от результатов (15) в качестве оценок неизвестных параметров интенсивности следует использовать либо (12), либо (15).

Как видно из рисунка, при увеличении отношения сигнал/шум вероятность пропуска сигнала $P_{пс}$ уменьшается. Уменьшения вероятности ложного обнаружения $P_{лц}$ цели достигается при увеличении порога, что в свою очереди приводит к большей вероятности пропуска цели.



Выводы

Синтезирована процедура совместного обнаружения и оценки интенсивности нестационарного потока вызовов в телекоммуникационных сетях, на основе которых могут быть построены соответствующие алгоритмы предотвращения перегрузки.

Список литературы: 1. *Многоканальная* электросвязь и телекоммуникационные технологии: Учебник для студентов высших учебных заведений / Под общ. ред. В.В. Поповского. Харьков: ООО «Компанія СМИТ», 2006. 592 с.2. *Шорин О.А.* Оценка параметров мобильности абонентов в сотовых системах связи // Электросвязь. 2004. Вып. №11. С. 39-41. 3. *Андронов А.М., Копытов Е.А.* Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2004. 461с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 15.04.2008