

ПРОЦЕДУРА ОБНАРУЖЕНИЯ И ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА ВЫЗОВОВ

Поповский В.В., Горяева С.Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. телекоммуникационные системы,
тел. (057) 702-13-20,

E-mail: tkc@kture.kharkov.ua

Synthesize procedure discovery of intensity of unstationary stream of calls in telecommunication networks. On the basis of a procedures proper algorithms of prevention overload can be built.

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 потере 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.

Очевидно λ_i , измеряемое за каждую конкретную единицу времени $\Delta t = t_i - t_{i-1}$, представляет собой случайный дискретный процесс, наблюдаемый на фоне шума v_i :

$$y_i = \lambda_i + v_i, \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (1)$$

Шум v_i - представляет собой сумму реальных физических шумов всегда имеющих место в электрических цепях; эквивалентных шумов, порождающихся ошибками измерения; шумов квантования и других различных случайных факторов в совокупности представляющих выборку из гауссового белого шума со спектральной плотностью мощности σ_v^2 .

В стационарных условиях процесс λ_i изменяется во времени без изменения среднего значения $\bar{\lambda}_i = \lambda_{cp} = \lambda$. В условиях нестационарности в изменениях λ_i имеется определенный тренд

$$\lambda_i^{(HC)} = \lambda_i^{(CT)} \pm \Delta \lambda_i, \quad (2)$$

где $\Delta \lambda_i$ - в общем случае линейная или нелинейная добавка к текущему стационарному значению интенсивности $\lambda_i^{(CT)}$. При знаке минус в выражении (2) на каждом очередном шаге нестационарное значение интенсивности $\lambda_i^{(HC)}$ постепенно уменьшается, при знаке плюс - возрастает. Критичным для практики являются те возрастания интенсивности $\lambda_i^{(HC)}$, которые превышают определенный порог λ_{KP} . Таким образом, возникает задача обнаружения критического порога интенсивности трафика. В стационарных

условиях, при известной плотности распределения вероятностей (1) для обнаружения λ_{KP} уместно непосредственно использовать метод максимального правдоподобия. Для нестационарного же случая требуется предварительно находить оценку $\hat{\lambda}_i$ на фоне шума наблюдения v_i [2].



Рис. 1. Структурная схема обнаружителя критического уровня нагрузки λ_{KP}

На рис. 1 изображена схема обнаружения критического значения λ_{KP} . Схема работает таким образом, что при выполнении гипотезы $H_1 : \lambda_i > \lambda_{KP}$ выполняется тот или иной механизм предотвращения перегрузки. Схема может быть обобщена на многоальтернативный случай, когда рассматривается не одна гипотеза H_1 , а несколько H_1, H_2, \dots, H_n . Очевидно при n – альтернативах приходим к более гибким решениям. Например, в случае гипотезы H_1 – происходит отбрасывание пакетов k -й заявки, при H_2 – каждой $k/2$ заявки, при H_3 – каждой $k/4$ заявки и т.д. Таким образом возникают две связанные научные задачи: оценки $\hat{\lambda}_i$ и обнаружения соответствующего порога.

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

$$p_i(\lambda) = \frac{\lambda^i}{i!} e^{-\lambda}, \quad (3)$$

где $\lambda > 0$ – интенсивность, параметр распределения, $i = 1, 2, \dots, N$ (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 :

$$\lambda(t) \leq \lambda_0; \quad (4)$$

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

$$\beta(t) = \lambda_0 + \lambda(t - t_0). \quad (5)$$

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

Обозначим через $\vec{t} = (t_1, t_2, \dots, t_N)$ выборку моментов возникновения запросов. По результатам обработки статистики $\vec{t} = (t_1, t_2, \dots, t_N)$ 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:

$$\frac{\max_{\lambda, \beta, t} P(\vec{t} | H_1, \lambda, \beta, t)}{\max_{\lambda} P(\vec{t} | H_0, \lambda)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \Pi, \quad (6)$$

где

$$P(\vec{t} | H_0, \lambda) = \lambda^N e^{-\lambda T}; \quad (7)$$

$$P(\vec{t} | H_1, \lambda, \beta, t) = \lambda^{n(t)} e^{-\lambda(t)} \beta^{N-n(t)} e^{-\beta(T-t)}; \quad (8)$$

- 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 выражения (5) получаем условную плотность распределения для гипотезы H_0 [2]:

$$L_0(\vec{t} | \lambda_0) = -\lambda_0 T + N \ln \lambda_0. \quad (9)$$

Для альтернативы имеем:

$$L_0(\vec{t} | \lambda_0, \lambda) = -\lambda_0 T - \lambda T \left(\frac{T}{2} - t_0 \right) + \sum_{i=1}^n \ln(\lambda_0 + \lambda(t_i - t_0)). \quad (10)$$

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:

$\hat{\lambda} = \arg \max_{\lambda} P(t | H_0, \lambda)$ - в случае принятия решения в пользу гипотезы H_0 ,

$(\hat{\lambda}, \hat{\beta}, \hat{t}) = \arg \max_{\lambda, \beta, t} P(t | H_1, \lambda, \beta, t)$ - в случае принятия решения в пользу гипотезы H_1 .

Оценкой максимального правдоподобия неизвестного параметра λ_0 является производная выражения (5):

$$\hat{L}_0(\vec{t}) = -N + N \ln \frac{N}{T}. \quad (11)$$

При незначительном появлении нестационарности можно полагать, что динамическая составляющая интенсивности на интервале анализа $|\lambda T|/\lambda_0 \ll 1$. И тогда приближенное выражение для максимума логарифма условной плотности распределения при справедливости альтернативы H_1 имеет вид:

$$\hat{L}_1(\vec{t}) \approx -N + N \ln \frac{N}{T} + \frac{N (T/2 - t_0)^2}{2 D_t}. \quad (12)$$

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.

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

$$\frac{\max_t P_m(\vec{t} | H_1, t)}{P_m(\vec{t} | H_0)} = L_1(\vec{t}) - L_0(\vec{t}) = \frac{\left(\frac{T}{2} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \right)^2}{\left(t_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_j \right)^2} \begin{matrix} > & H_1 \\ < & H_0 \end{matrix} \quad (13)$$

В зависимости от результатов (14) в качестве оценок неизвестных параметров интенсивности следует использовать либо (9), либо (10).

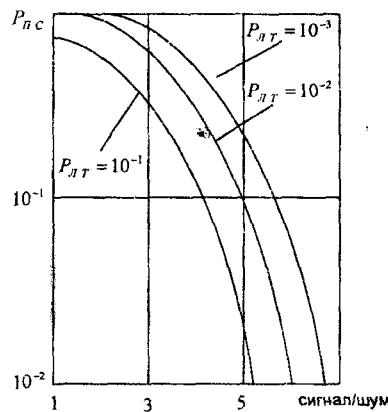


Рис. 2. Вероятность пропуска цели $P_{Пс}$ при различных значениях вероятности ложной тревоги

Как видно из рисунка, при увеличении отношения сигнал/шум вероятность пропуска сигнала $P_{Пс}$ уменьшается. Уменьшения вероятности ложного обнаружения $P_{ЛТ}$ цели достигается при увеличении порога, что в свою очередь 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.

Литература:

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