

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 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](mailto:tkc@kture.kharkov.ua)

For estimation of trends in unstationary traffic the smoothed rekursyvnyy algorithm of the type Robins-Monro is offered use. Analysed influencing of different parameters in an algorithm on quality of discovery of critical level of intensity stream. Recommendations on the use of procedure in different mechanisms of prevention overload of the type RED, SPD, ECN and other are given.

При проектировании телекоммуникационных сетей возникает задача выбора производительности сетевых устройств, обеспечивающих обработку трафика [1, 2]. Вместе с тем, при любом выборе параметров этих устройств, возникает вероятность того, что поток заявок превысит допустимый порог и наступит перегрузка. Поэтому предусматриваются различные механизмы, предотвращающие эту перегрузку. К числу таких относятся [1]: механизм RED; взвешенный алгоритм произвольного раннего обнаружения (WRED); механизм явного уведомления о перегрузке (ECN); механизм избирательного отбрасывания пакетов (SPD); средства выравнивания трафика (Traffic Shaping, TS); функциональность механизма Committed Access Rate (CAR); механизм Policing.

Во всех перечисленных методах имеется одна общая составляющая: необходимость оценки уровня поступающей нагрузки  $\lambda(t)$ . Интенсивность  $\lambda$  в потоковых задачах является средней величиной числа заявок в единицу времени. Очевидно  $\lambda_i$ , 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  $\sigma_v^2$ .

Наиболее рациональным подходом для получения оценки  $\lambda_i$  было бы использование оптимального фильтра Калмана-Бьюси. Однако в условиях априорной неопределенности применение этого фильтра затруднено из-за сложностей параметризации задачи. Конструктивнее, в данном случае, использовать непараметрическую процедуру стохастической аппроксимации типа Робинса-Монро [3]:

$$\hat{\lambda}_{i+1} = \hat{\lambda}_i + K_i (y_{i+1} - \hat{\lambda}_i), \quad (2)$$

где  $K_i$  - масштабирующий коэффициент.

Для создания математической модели процесса  $\lambda_i$  воспользуемся методом формирующего фильтра для случайного процесса, уравнение состояния которого [2]:

$$\lambda_{i+1} = \Phi(i, i+1)\lambda_i + G\xi_i, \quad (3)$$

где  $\Phi(i, i+1) = e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$  - функция прогноза, коэффициент перехода;  $\Delta t$  - шаг дискретизации;  $\tau$  - интервал корреляции случайного процесса  $\lambda_i$ ;  $G = \sqrt{\sigma_{\xi}^2 \Phi(i, i+1)(1 - \Phi(i, i+1))}$  - коэффициент при порождающем процессе;  $\xi_i$  - выборка из белого гауссового шума со спектральной плотностью мощности  $\sigma_{\xi}^2$ .

Суть эксперимента состояла в том, чтобы получить оценки  $\hat{\lambda}_i$ , где  $y_i$  формируется за счет суммирования последовательности (3) с выборкой из шума  $v_i$ . Для моделирования нестационарности можно воспользоваться аддитивной добавкой  $\Delta y_i = C_i \sin\left(i \frac{\Delta t}{\tau}\right)$ , где с помощью  $C_i$  - можно моделировать скачкообразные нестационарные изменения, с помощью  $\sin\left(i \frac{\Delta t}{\tau}\right)$  - плавные.

Согласно исследованиям уровней оцениваемой компоненты  $\hat{\lambda}_i$  в зависимости от величины шаговой постоянной  $K$  для трех вариантов значений шага дискретизации наблюдаемого процесса следует, что с уменьшением коэффициента  $K$  уровни  $\hat{\lambda}_i$  уменьшаются при любом шаге дискретизации  $\Delta t/\tau$ . Однако менее заметное уменьшение уровня  $\hat{\lambda}_i$  происходит при самом маленьком шаге  $\Delta t/\tau = 0.001$ . Этот факт имеет важное значение при построении обнаружителя, поскольку с уменьшением уровня  $\hat{\lambda}_i$  теряется качество обнаружения [2]. Следовательно, выбор маленького шага дискретизации  $\Delta t/\tau$  весьма желателен. Однако реализация такого шага на практике возможна далеко не всегда, ибо этот шаг определяется не быстродействием вычислителя, а имеющимся в конкретной ситуации потоком вызовов. Практика показывает, что в лучшем случае этот шаг может составить 0,1 ... 0,01.

На рис. 1 представлены графики величины смещения максимума нестационарной компоненты в зависимости от величины коэффициента  $K$  при прочих равных условиях. Из рис. 1 видно, что с уменьшением  $K$  наблюдается резкое увеличение смещения получаемой оценки. Это смещение особенно заметно при малой величине шага дискретизации. Из графиков следует, что указанный максимум может быть смещен на величину от нескольких десятков до нескольких сотен шагов дискретизации. Такое смещение может привести к значительным погрешностям в обнаружении факта достижения критического уровня интенсивности потока заявок, т.е. маленькое значение  $K$  приводит к большому запаздыванию в обнаружении  $\lambda_{кр}$ . Кроме того, наличие такого большого смещения ставит под сомнение рекомендации [5] о выборе  $K = 2^{-9} = 0.00195$ , ибо указанное большое смещение, а соответственно и ошибки обнаружения, при этом - максимальны.

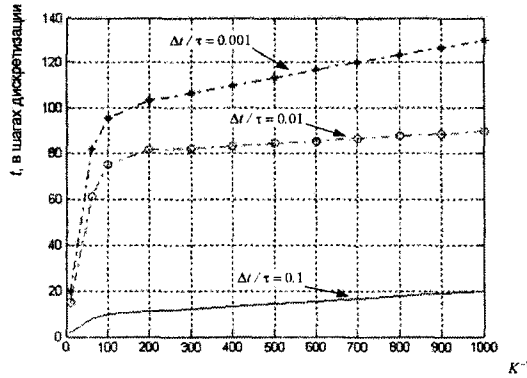


Рис. 1. Смещение оценки значения максимума нестационарности в зависимости от величины шаговой постоянной  $K$

С целью анализа смещения максимума получаемой оценки с изменением шаговой постоянной для механизма RED имеющая вид  $K = 2^{-n}$  был проведен эксперимент, схема исследований которого представлена на рис. 2.

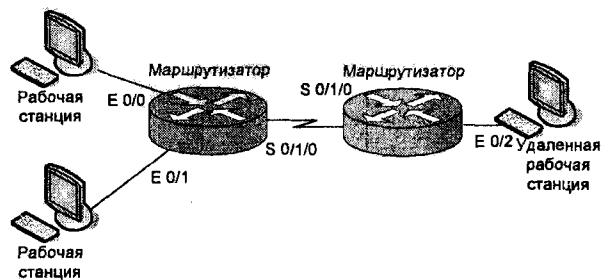


Рис. 2. Схема исследований

Исследуемая схема состоит из двух маршрутизаторов Cisco Systems серии 2801 и рабочих станций. На маршрутизаторах реализована возможность включения алгоритма RED, изменение значений размера буфера маршрутизатора, скорости входящего, исходящего потоков трафика, максимальной и минимальной длины очереди пакетов, значение экспоненциального весового коэффициента  $n$ .

На рис. 3 представлены графики изменения вероятности отбрасывания пакетов во времени при большой нагрузке для трех вариантов значений величины шаговой постоянной  $K = 2^{-1}$ ,  $K = 2^{-9}$ ,  $K = 2^{-16}$ . Из графиков видно, что при уменьшении шаговой постоянной вероятностный механизм отбрасывания пакетов начинает работать гораздо позже, но продолжительнее.

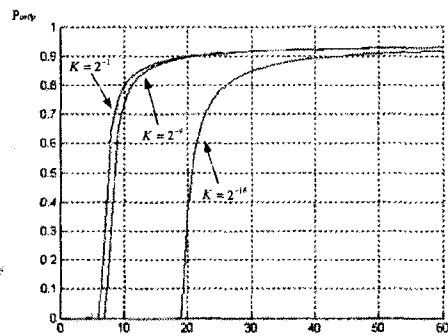


Рис. 3. Изменение вероятности отбрасывания пакетов во времени при большой нагрузке

На рис. 4 приведены графики заполнения буфера и вероятности отбрасывания пакетов (для наглядности, вероятность отбрасывания умножена на несколько сотен) при прочих равных условиях. Из графиков следует, что чем меньше шаговая постоянная, тем отбрасывание пакетов при переполнении буфера начинается с большим запаздыванием, что не противоречит полученным математическим исследованиям.

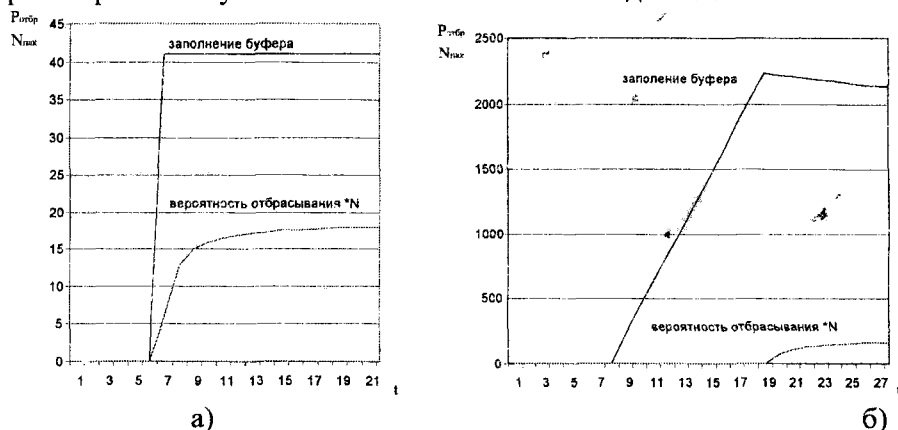


Рис. 4. График зависимости заполнения буфера и вероятности отбрасывания пакетов для а)  $K = 2^{-1}$ , б)  $K = 2^{-16}$

#### Выводы:

1. Экспериментальные исследования процедуры оценки тренда нестационарности (3) показали, что кроме ожидаемого сглаживающего эффекта, имеют место и другие, влияние которых сказывается на качестве обнаружителя: с уменьшением шаговой постоянной  $K$  снижается уровень оцениваемой компоненты, что приводит к снижению отношения сигнал/шум, а соответственно, и к ошибкам в обнаружении. Рекомендованный в [3] выбор коэффициента  $K$  в виде  $2^{-n}$  при  $n = 9$  не может быть рациональным. Следует рекомендовать  $K = (0.01...0.04)$ , где смещение оценки и потери уровня оцениваемой компоненты еще не столь пагубны.

2. Точность оценки, ее смещенности, и сам сглаживающий эффект зависит также от выбранного шага дискретизации  $\Delta t/\tau$ . Если имеется возможность, то необходимо уменьшать этот шаг. Однако на практике величина данного шага определяется, как правило, интервалами времени поступления сигнальной или иной управляющей информации. Поэтому шаг  $\Delta t/\tau$  зависит не от желаний исследователя, а от возможности используемой в данной сети технологии.

3. Для обнаружения критического и других допустимых уровней нестационарного потока заявок в телекоммуникационных системах может быть использована рекурсивная процедура оценки, построенная по алгоритму Робинса-Монро, обладающая соответствующим сглаживающим эффектом. Рекомендованная в [3] процедура вида:

$$\bar{x}_k = x_{k-1} \cdot (1 - 2^{-n}) + (x_{k-1} \cdot 2^{-n})$$

которая также может быть адекватно сведена к процедуре (2), не является рациональной из-за значительных смещений оценки и снижения уровня оцениваемой нестационарной компоненты.

#### Литература:

1. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применения в связи и управлении. – М.: Связь, 1976. – 496с.
2. Quality of Service Solutions Configuration Guide. QC-12/ Cisco Press.
3. Невельсон М.Б., Хасьяминский Р. З. Стохастическая аппроксимация и рекуррентное оценивание. – М.: Связь, 1980. – 432с.
4. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За загал. ред. В.В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.