

УДК 004.728 : 519.87

Ю.Ю. Завизиступ¹, Г.А. Кучук², А.А. Коваленко¹, Ж.В. Дейнеко¹¹ Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків² Харьковський університет Воздушних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ТРАФИКА В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В статье предложен метод предиктивного управления интенсивностью трафика в беспроводных сетях передачи данных. На основе мониторинга потоков данных на заданном интервале времени производится анализ их статистических характеристик и осуществляется классификация каждого из потоков по критерию значения показателя Херста. Для этого предложен метод оценки значения показателя Херста на основе дискретного вейвлет-преобразования, который не требует большого объема вычислений и позволяет производить анализ потоков в реальном масштабе времени. Предложенный метод может быть использован на транспортном уровне систем управления потоками данных беспроводных сетей.

Ключевые слова: управление, оценка, передача, трафик, сеть, показатель, мониторинг, характеристика, фрактальность, масштаб.

Введение

Многочисленные современные исследования различных типов трафика, как проводных, так и беспроводных сетей, показали, что он зачастую обладает свойством фрактальности [1 – 3]. В частности, было установлено, что изначально не проявляющие свойств фрактальности потоки данных, пройдя обработку на узловых серверах и активных сетевых элементах, начинают проявлять ярко выраженные признаки фрактальности [4, 5].

Одна из характерных особенностей фрактального трафика – наличие сравнительно интенсивных

всплесков при относительно небольшом среднем значении интенсивности (рис. 1). Такие всплески вызывают значительные задержки и потери пакетов при передаче по сети, даже в ситуациях, когда суммарная интенсивность всех потоков далека от максимально допустимых значений. В результате при использовании стандартных сетевых протоколов фрактальность приводит к значительному ухудшению как временных, так и количественных характеристик трафика при его прохождении через узлы сети, так как используемые в настоящее время методы анализа трафика не дают адекватную картину происходящих в сети процессов [6, 7].

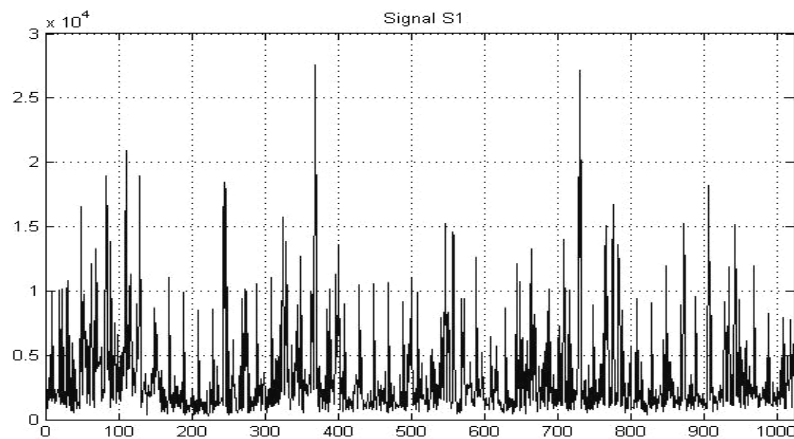


Рис. 1. Пример зависимости интенсивности трафика от времени

Для улучшения показателей процесса прохождения информационных потоков на участках сети (в частности, для беспроводных сетей передачи данных (БСПД), где влияние фрактальности наиболее существенно) необходимо вносить изменения в стандартные протоколы управления трафиком, основанные на краткосрочном прогнозе трафика.

Для реализации краткосрочного прогноза, позволяющего получить прогнозируемые параметры

процесса, наиболее близкие к реальным, необходимо учитывать особенности фрактального трафика, в частности, сохранение структуры процесса во временном масштабе (самоподобие) [8] и наличие «тяжелых хвостов» распределения [9], связанных с существенным влиянием автокорреляции для фрактального трафика (рис. 2).

Целью данной статьи является разработка метода предиктивного управления интенсивностью

трафика БСПД, позволяющего учесть особенности фрактального трафика на основе мониторинга пото-

ков данных на заданном интервале времени с использованием оперативной оценки показателя Херста.

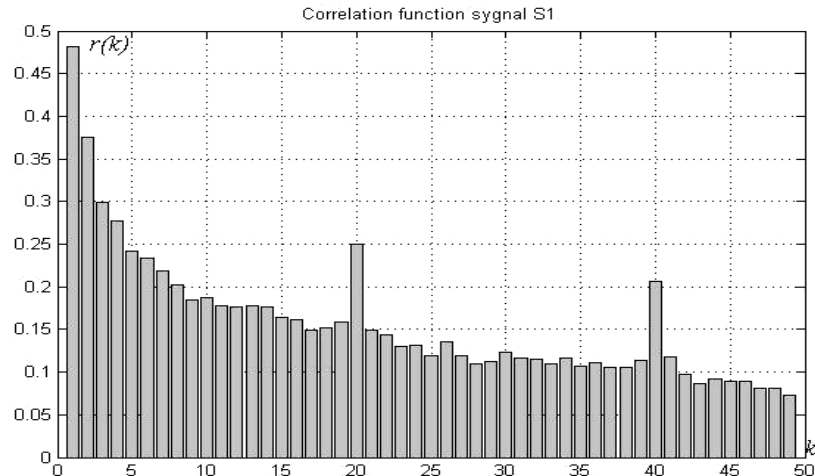


Рис. 2. Автокорреляция трафика (рис. 1)

Метод оценки значения показателя Херста на основе дискретного вейвлет-преобразования

Для определения значения показателя Херста предлагается использование кратномасштабного вейвлет-анализа, основная идея которого заключается в том, что разложение исследуемого трафика производится по ортогональному базису, образованному сдвигами и кратномасштабными копиями вейвлет-функции. Дискретное вейвлет-разложение заключается в разбиении исследуемого ряда на две составляющие: аппроксимирующую и детализирующую, с последующим их дроблением с целью изменения уровня декомпозиции отсчетов трафика [10 – 12]. При многоуровневом разложении временной ряд представляется суммой детализирующих и аппроксимирующей составляющих, определяемых вейвлет-коэффициентами каждого уровня разложения.

Дискретные вейвлеты используются, как правило, в паре со связанными с ними дискретными скейлинг-функциями $\varphi_{j,k}(t)$. Скейлинг-функции имеют с вейвлетами общую область задания и определенное соотношение между значениями (формой). В соответствии с дискретным вейвлет-преобразованием временной ряд $X(t)$ состоит из набора коэффициентов – детализирующих и низкоуровневых аппроксимирующих:

$$X(t) = \text{approx}_J(t) + \sum_{j=1}^{j=J} \text{det } a_{j,k}(t) = \sum_k a_{j,k} \varphi_{j,k}(t) + \sum_{j=1}^J \sum_k d_{j,k} \psi_{j,k}(t).$$

При заданных материнском вейвлете ψ и соответствующей скейлинг-функции φ аппроксимирующие коэффициенты $a_{j,k}$ и детализирующие коэф-

фициенты $d_{j,k}$ ДВП для процесса $X(t)$ определяются следующим образом:

$$a_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \varphi_{j,k}(t) dt, \quad d_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \psi_{j,k}(t) dt,$$

где $\varphi_{j,k} = 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}t-k)$; $\psi_{j,k} = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t-k)$.

Основу метода оценивания показателя Херста составляет положение о том, что изменение средних значений квадратов модулей вейвлет-коэффициентов

$$\mu_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} |d_x(j,k)|^2$$

подчиняется скейлинговому отношению:

$$\mu_j \sim 2^{(2H-1)j}, \tag{1}$$

где H – показатель Херста; $d_x(j,k)$ – детализирующие вейвлет-коэффициенты на заданном уровне разложения j .

Данное соотношение позволяет оценить показатель Херста:

$$\log_2(\mu_j) = \log_2 \left(\frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} |d_x(j,k)|^2 \right) \sim (2H-1)j + \text{const}.$$

Таким образом, при наличии долговременной зависимости в процессе $x(t)$ показатель Херста H может быть получен путем оценки наклона графика функции зависимости $\log_2(\mu_j)$ от j .

Примеры оценки показаны на рис. 3.

Для реализации метода оценки значения показателя Херста на основе дискретного вейвлет-преобразования предлагается следующий алгоритм [13].

Шаг 1. Для исследуемого трафика $X(t)$, $t = 1, 2, \dots, n$ выполняется вейвлет-декомпозиция, т.е. разложение с помощью набора анализирующих функций – вейвлетов с заданным максимальным уровнем разложения.

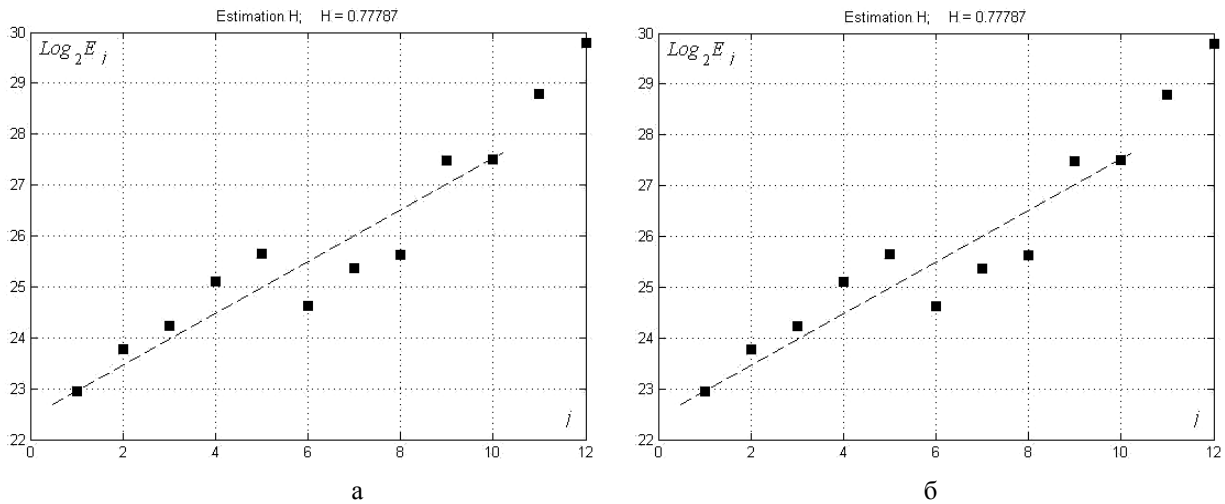


Рис. 3. Оценка показателя Херста для трафика, представленного на рис. 1:
 а – $j = 12$, $H \approx 0,78$; б – $j = 15$, $H \approx 0,80$

Шаг 2. На каждом уровне разложения j определяются детализирующие коэффициенты $d_x(j, k)$. Количество коэффициентов детализации k определяется уровнем разложения.

Шаг 3. На каждом уровне разложения вычисляется сумма квадратов вейвлет-коэффициентов. Согласно выражению (1) показатель Херста находится в скейлинговом соотношении с суммой квадратов модулей детализирующих коэффициентов.

Шаг 4. Для каждого уровня разложения j ставится в соответствие логарифм суммы квадратов модулей вейвлет-коэффициентов. Аппроксимируя вычисленные значения вейвлет-коэффициентов методом наименьших квадратов, получается линейная зависимость, по углу наклона которой определяется показатель Херста.

Предложенный метод определения значения показателя Херста на основе дискретного вейвлет-преобразования, в отличие от существующих, не требует большого объема вычислений и позволяет производить анализ трафика в реальном масштабе времени, поэтому его предлагается использовать при предиктивном управлении интенсивностью трафика в беспроводных сетях.

Разработка метода предиктивного управления интенсивностью трафика в беспроводных сетях

В качестве математической модели телекоммуникационного трафика, обладающего свойствами фрактальности, рассматривалась ON/OFF-модель, которая также применяется и для объяснения физических причин фрактальных явлений в современных сетях передачи данных [14].

Рассмотрим небольшой интервал времени τ длительностью T , в течение которого виртуальная топология БСПД (например, в мультипротокольной коммутации по меткам задаваемая наведенным

MPLS-графом) остается неизменной, а отсчет времени начнем с начала интервала τ , т.е. $\tau = [0, T]$. Проанализируем состояние участка, обрабатывающего информацию от ξ -го источника за временной период τ (для упрощения записи в обозначениях переменных опустим верхний индекс, обозначающий принадлежность к данному источнику).

Для j -го потока ($j = \overline{1, N}$) зададим разбиение интервала времени $[0, T]$ на $n_j^{(on)}$ ON-периодов $i = \overline{1, n_j^{(on)}}$:

$$\Omega_j^{(on)} = \left\{ \begin{array}{l} \mathfrak{Z}_{j,i}^{(on)} = \langle t_{j,i}^{(0)}, \Delta t_{j,i} \rangle \quad i = \overline{1, n_j^{(on)}}; \\ t_{j,i+1}^{(0)} > t_{j,i}^{(0)} + \Delta t_{j,i}; \quad t_{j,i}^{(0)} \in [0, T]; \quad t_{j, n_j^{(on)}}^{(0)} \leq T \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где j – индекс потока; i – номер интервала активности j -го потока (ON-период); $t_{j,i}^{(0)}$ – начало i -го ON-интервала длительностью $\Delta t_{j,i}$.

Далее проведем разбиение i -го ON-интервала этого же потока:

$$\Omega_{j,i}^{(A)} = \left\{ \mathfrak{Z}_{j,k}^{(A)} = \langle t_{j,i,k}^{(0)}, \delta t_{j,i,k} \rangle \quad k = \overline{1, n_{j,i}^{(A)}}; \quad t_{j,i,k}^{(0)} \in \mathfrak{Z}_{j,i}^{(on)} \right\}, \quad (3)$$

где k – номер интервала передачи группы пакетов в интервал активности $\mathfrak{Z}_{j,i}^{(on)}$; $n_{j,i}^{(A)}$ – количество групп пакетов с начальным временем $t_{j,i,k}^{(0)}$ и длительностью передачи $\delta t_{j,i,k}$, которые переданы в интервал активности $\mathfrak{Z}_{j,i}^{(on)}$ j -м потоком.

На разбиении (3) определим функцию Невисайда

$$H\left(t, \Omega_{j,i}^{(A)}\right) = \begin{cases} 0, & t \notin \Omega_{j,i}^{(A)}; \\ 1, & t \in \Omega_{j,i}^{(A)}, \end{cases} \quad t \in [0, T], \quad (4)$$

которая имеет единичную амплитуду и характеризует характер активности j -го потока на рассматриваемом временном интервале τ .

Функция

$$H_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^N H\left(t, \Omega_{j,i}^{(A)}\right), \quad t \in [0, T] \quad (5)$$

принимает значения в интервале от 0 до N и характеризует количество активных ON-интервалов в конкретный момент времени t , т.е. ее амплитудные состояния (АС) в различные интервалы времени указывают на количество потоков участвующих в процессе статистического мультиплексирования.

Далее учтем в модели колебания скорости передачи для каждого отдельного потока, обусловленное методами распределения пропускной способности, основанными на обратной связи между источником и получателем, в частности, рассмотрим метод управления интенсивностью трафика от источника, основанный на изменении размера перегрузочного окна, при котором управление сводится к постоянному линейному увеличению нагрузки с заданным тактом для определения момента начала перегрузки. За периодом роста, по факту потери пакета осуществляется снижение скорости передачи.

В процессе аддитивного увеличения и мультипликативного сброса перепады интенсивности трафика от одного источника в среднем достигают значений от 8 до 12 % значения выделенной для соединения пропускной способности [15], периодичность чередования аддитивного роста и мультипликативного сброса вносит в генерируемый источником трафик пусть незначительные, но все же ощутимые корреляционные зависимости, поэтому их необходимо учитывать в предлагаемой модели.

Данные изменения скорости можно аппроксимировать квазипериодической функцией. Процесс аддитивного увеличения и мультипликативного сброса для каждого отдельного потока будем моделировать квазипериодическими сигналами со значениями амплитуд $A_k(\tau_i)$ и частот $\omega_{j,i,k}$. При объединении ансамбля квазипериодических источников (АКИ) случайные совпадения близких к максимальным или минимальным значениям амплитуд, их значение в объединенном процессе будут иметь вид всплесков или спадов интенсивности на фоне более продолжительных, сглаженных участков на временной оси. Помимо вариаций рассмотренных величин важными являются и вариации начала периода активности каждого источника в стохастической фазе, которая является аналогом вариации времени под-

ключения различных отдельных источников. Также необходимо учитывать и разбиение каждого периода активности на сегменты, соответствующие передаче групп пакетов.

Учитывая, что функция Хевисайда для $\delta t < \Delta t$ обладает свойством [16]:

$$\begin{aligned} [H(t) - H(t + \Delta t)] \cdot [H(t) - H(t + \delta t)] &= \\ &= H(t) - H(t + \delta t), \end{aligned}$$

а также то, что выполняется условие $T_T \ll \delta t < \Delta t$ (T_T – время такта оборота пакета данных), учесть изменение пропускной способности, обусловленное управлением, основанным на обратной связи между получателем и источником в пределах заданного разбиения, можно описать следующим выражением:

$$\begin{aligned} C_{j,i,k}(t) &= \\ &= \sum_{\ell=0}^{\ell_{j,i,k}} \left(\left(C_j^{(0)} \cdot (1 - \alpha_{j,i}) + (t - \ell \cdot \tau_{j,i,k}) \cdot \frac{\omega_{j,i,k} \cdot \gamma_{j,i,k}}{T_T} \right) \times \right. \\ &\quad \times \left(H(\tau_{j,i,k} \cdot \ell + \omega_{j,i,k}) - H(\tau \cdot \ell + \omega_{j,i,k} + T_T) \right) + \\ &\quad \left. + \left(\gamma_{j,i} \left(t - t_{j,i,k}^{(0)} \right) + C_j^{(0)} \cdot (1 - \alpha_{j,i}) - \ell \cdot \tau_{j,i,k} \right) \times \right. \\ &\quad \left. \times \left(H(\ell \cdot \tau_{j,i,k}) - H(\ell \cdot \tau_{j,i,k} + \omega_{j,i,k}) \right) \right), \end{aligned} \quad (6)$$

где $t_{j,i,k}^{(0)}$ – начало процесса; $\gamma_{j,i,k}$ – коэффициент изменения скорости; $\ell_{j,i,k}$ – количество интервалов возрастания скорости передачи при передаче j -м потоком на i -м интервале активности в пределах $\left[t_{j,i,k}^{(0)}, t_{j,i,k}^{(0)} + \delta t_{j,i,k} \right]$; $C_j^{(0)}$ – пропускная способность, запланированная для j -го потока на временном интервале τ ;

$$\omega_{j,i,k} = \frac{2\alpha_{j,i} \cdot C_j}{\gamma_{j,i,k}},$$

где $\alpha_{j,i}$ – коэффициент, учитывающий вариации изменения скорости передачи, $\alpha_{j,i} \ll 1$, $j \in \overline{1, N}$;

$$\tau_{j,i,k} = t_{j,i,k}^{(0)} + \omega_{j,i,k} + T_T.$$

Функции $C_{j,i,k}(t)$ описывают величину пропускной способности, выделенной j -му потоку в i -й ON-период для k -й группы пакетов, используя для выделения необходимых временных интервалов функцию Невисайда, поэтому для i -го ON-периода активности в пределах интервала $\left[t_{j,i}^{(0)}, t_{j,i}^{(0)} + \Delta t_{j,i} \right]$ процесс выделения пропускной способности описывается такой функцией:

$$C_{j,i}(t) = \sum_{k=0}^{n_{j,i}^{(A)}} C_{j,i,k}(t), \quad (7)$$

а для j -го ИПД рассчитывается как

$$C_j(t) = \sum_{i=0}^{n_j^{(on)}} C_{j,i}(t), \quad t \in [0, T], \quad (8)$$

при $\sum_{i=0}^{n_j^{(on)}} \Delta t_{j,i} \leq T_j, \quad \sum_{k=0}^{n_{j,i}^{(A)}} \delta t_{j,i,k} \leq \Delta t_{j,i}, \quad T_T \cdot l_{j,i,k} < \delta t_{j,i,k},$
 $j \in \overline{1, N}; \quad i = \overline{1, n_j^{(on)}}; \quad k = \overline{1, n_{j,i}^{(A)}}.$

Для учета события хэндовер (англ. Handover), специфического для БСПД, на рассматриваемом временном интервале введем функцию

$$h_j(t) = t + \sum_{\ell=0}^{t_j^{(h)}} \Delta t_{j,\ell}^{(h)}, \quad \ell \in [0, L], \quad t_{j,0}^{(h)} = T; \quad \Delta t_{j,0}^{(h)} = 0,$$

осуществляющую гомоморфное отображение интервала $\tau = [0, T]$ на множество сессий БСПД.

Тогда ON/OFF-модель отдельного j -го источника на i -м интервале активности, которая учитывает иерархическую структуру периодов его активности и вариации скорости, обусловленные применяемыми методами перераспределения пропускной способности (ПС) в пределах временного интервала

$$\left[h_j(t_{j,i}^{(0)}), h_j(t_{j,i}^{(0)}) + \Delta t_{j,i} \right]$$

отдельной сессии БСПД, имеет следующий вид [3]:

$$I_{j,i}(h(t)) = \sum_{k=0}^{n_{j,i}^{(A)}} C_{j,i,k}(h(t)), \quad (9)$$

а для интегрального входного потока интенсивность агрегированного трафика на входе рассматриваемого участка беспроводной сети передачи данных рассчитывается как

$$I(h(t)) = \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^{n_j^{(on)}} I_{j,i}(h(t))$$

со следующими ограничениями:

$$I(h(t)) \leq I_{\max};$$

$$\sum_{i=0}^{n_j^{(on)}} h \Delta t_{j,i} \leq T_j; \quad \sum_{k=0}^{n_{j,i}^{(A)}} \delta t_{j,i,k} \leq \Delta t_{j,i}; \quad \alpha_{j,i} \ll 1;$$

$$T_T \cdot l_{j,i,k} < \delta t_{j,i,k}; \quad j \in \overline{1, N}; \quad i = \overline{1, n_j^{(on)}}; \quad k = \overline{1, n_{j,i}^{(A)}},$$

где T_j – время, необходимое для передачи данных от j -го источника через КУ; I_{\max} – максимально допустимая скорость передачи данных на участке БСПД.

Предложенная математическая ON/OFF-модель трафика (9) описывает как потоки данных от одного источника, так и агрегированный трафик, и, в отличие от существующих аналогов, учитывает реальные процессы в объединенных сетях передачи данных, включающих БСПД и событие хэндовер.

Процесс возникновения перегрузок как на отдельных сетевых компонентах, так и в БСПД в це-

лом, является достаточно сложным и зачастую неформализуемым процессом. В настоящее время существует необходимость в более конкретизированном описании процесса циркуляции потоков данных в пределах установленных маршрутов БСПД, а также соответствующих временных задержек при передаче пакетов [17].

Наиболее полную характеристику свойств процесса возникновения перегрузок маршрутизаторов БСПД можно получить, рассматривая его во взаимосвязи со средним временем передачи пакета данных на установленном маршруте.

Процесс управления перегрузками в БСПД обычно реализуется на основании анализа потерь пакетов во время наступления перегрузки, соответственно уменьшая скорость передачи. Поскольку всплеск интенсивности трафика может быть непродолжительным, снижение скорости передачи не всегда является оправданной мерой.

В итоге ПС установленного соединения используется не в полной мере. Учитывая то, что трафик БСПД зачастую обладает свойством фрактальности, то он может быть прогнозируемым за счет корреляционной зависимости, характерной для фрактальных процессов.

Необходимо учитывать, что при работе сети в стационарном режиме служебный трафик (СТ) занимает 5...10 % общей ПС, а при динамическом изменении топологии сети, при образовании в БСПД сегментов, являющихся КУ, СТ может занимать 80 и более процентов общей ПС на данном участке. Следовательно, возникает необходимость перераспределения ПС БСПД между потоками служебного и информационного трафика (ИТ) таким образом, чтобы обеспечить и передачу пакетов ИТ и работу сети в условиях изменения ее структуры и состава.

Для уменьшения времени передачи данных и установки максимального размера плавающего окна протокола транспортного уровня БСПД, при проявлении трафиком свойств фрактальности, возможно использование прогнозирования на основе предложенной ON-OFF модели.

Пусть R – ПС участка БСПД, $R_{СТ}$ – ПС участка, предоставленная СТ, $R_{ИТ}$ – ПС КУ, предоставленная ИТ; $(R_{ИТ}^{(0)}, R_{СТ}^{(0)})$ – начальное (в момент времени t_0) распределение ПС участка при условии

$$R_{ИТ}^{(0)} + R_{СТ}^{(0)} < R.$$

Поиск точки распределения (ТР) потоков $(R_{ИТ}^{(x)} + R_{СТ}^{(x)})$ в существующих методах, реализованных на транспортном уровне, перераспределения ПС каналов БСПД осуществляется последовательным изменением фаз аддитивного увеличения раз-

мера плавающего окна и его мультипликативного уменьшения при потере пакета. Учитывая приоритетность СТ, использование таких методов приводит к непропорциональному распределению ПС. Каждое превышение скорости передачи доступного соединению размера ПС ведет к потере пакетов, а при наличии свойств фрактальности входящих потоков процесс определения ТР становится продолжительным.

Таким образом, возможно определение ТР на основе прогнозирования значений интенсивности суммарного ИТ с помощью ON/OFF-модели. Для определения максимальных значений интенсивности ИТ на интервале прогнозирования, проводится анализ статистических характеристик входных потоков и их проверка на наличие свойств фрактальности. Если значение показателя Херста указывает на фрактальность трафика ($0,75 \leq H < 1$), то проводится прогнозирование с помощью ON/OFF-модели трафика участка БСПД.

В противном случае ТР определяется по средним значениям СТ и ИТ или используются существующие методы поиска ТР.

После проведения прогнозирования определяется прогнозируемое соотношение ИТ и СТ – $(R_{ИТ}^{(пр_i)}, R_{СТ}^{(пр_i)})$. Учитывая значение пропускной способности участка БСПД ($R_{КУ}$), определяется ТР $(R_{ИТ}^{(x_i)}, R_{СТ}^{(x_i)})$ из условий:

$$R_{ИТ}^{(x_i)} = \frac{R_{КУ}}{R_{ИТ}^{(пр_i)} + R_{СТ}^{(пр_i)}} \cdot R_{ИТ}^{(пр_i)}, \quad (10)$$

$$R_{СТ}^{(x_i)} = \frac{R_{КУ}}{R_{ИТ}^{(пр_i)} + R_{СТ}^{(пр_i)}} \cdot R_{СТ}^{(пр_i)}. \quad (11)$$

Аналогично определяются и последующие ТР для последующих интервалов ($i+1$ и т.д.).

Таким образом, можно предложить метод предиктивного управления интенсивностью трафика на участке БСПД, соответствующий алгоритм реализации которого заключается в следующей последовательности шагов.

Шаг 1. На основе мониторинга потоков данных на интервале времени T на входе участка БСПД производится анализ статистических характеристик потоков данных и осуществляется классификация каждого из них по критерию значения показателя Херста методом, описанным выше.

Шаг 2. Если значение показателя Херста $H \leq 0,75$, то поиск ТР для СТ и ИТ осуществляется методами управления, используемыми в конкретной БСПД. Вместе с этим осуществляется дальнейший мониторинг на очередном временном интервале.

Шаг 3. Если значение показателя Херста лежит в пределах $0,75 < H < 1$, то осуществляется

прогнозирование возможных максимальных значений интенсивности трафика на основе ON/OFF модели (9).

Шаг 4. В соответствии с выражениями (10) и (11) определяется ТР для прогнозируемых значений.

Шаг 5. Если сумма максимальных значений интенсивности СТ и ИТ не превышает значение суммарной ПС КУ БСПД, то производится ее пропорциональное распределение в соответствии с запрашиваемыми значениями.

Шаг 6. Если сумма максимальных значений интенсивности СТ и ИТ превышает значение суммарной ПС КУ БСПД, то производится поиск точки пропорционального распределения ПС КУ БСПД в соответствии с выражениями (10) и (11).

Шаг 7. После определения ТР для тех потоков, сумма интенсивностей которых превышает значение пропорционально распределенной ПС, в соответствии с процедурой извещения о перегрузке, источники вместе с подтверждением получения пакета получают команду на снижение скорости передачи до установленного в протоколе уровня. Затем скорость передачи увеличивается в соответствии с фазой аддитивного увеличения.

Шаг 8. Если дальнейший мониторинг потоков на входе участка БСПД указывает на то, что для них показатель Херста принимает значение $H \leq 0,75$, то осуществляется переход к существующим методам распределения ПС. Вместе с этим осуществляется дальнейший мониторинг на очередном временном интервале.

Выводы

В работе предложен метод предиктивного управления интенсивностью трафика в беспроводных сетях передачи данных на основе анализа показателя Херста, который может быть реализован на транспортном уровне БСПД. Для этого предложен метод оценки значения показателя Херста на основе дискретного вейвлет-преобразования, который не требует большого объема вычислений и позволяет производить анализ в реальном масштабе времени.

Предиктивное управление реализуется за счет изменения размера плавающего окна на основе мониторинга потоков данных на заданном интервале времени на входе участка БСПД с последующим анализом их статистических характеристик и классификаций каждого из них.

Предложенный метод может быть использован на транспортном уровне систем управления потоками данных беспроводных сетей.

Список литературы

1. Столингс, В. *Современные компьютерные сети* / В. Столингс. – СПб.: Питер, 2003, – 783 с.

2. Athuraliya, S. REM: Active Queue Management [Text] / S. Athuraliya V. Li, S. Low, Q. Yin // IEEE Network. – 2001. – Vol. 15, № 3. – P. 48–53.
3. Завизиступ, Ю.Ю. Метод перераспределения нагрузки базовой станции в технологии WIMAX [Текст] / Ю.Ю. Завизиступ, А.А. Коваленко, А.С. Мохаммад, М.А. Можжаев // Системы обработки информации: сб. науч. тр. – Х.: ХУВС, 2011. – Вып. 5 (95). – С. 212–217.
4. Шелухин О.И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях: моногр. / О.И. Шелухин, А.М. Тенякиев, А.В. Осин. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
5. Шелухин О.И. Причины самоподобия телетрафика и методы оценки показателя Херста / О.И. Шелухин // Электротехнические комплексы и информационные системы. – 2007. – № 1. – С. 7–10.
6. Алгазинов, Е.К. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем / Е.К. Алгазинов, А.А. Сирота. – М.: Диалог МИФИ, 2009. – 414 с.
7. Бородакий Ю.В. Эволюция информационных систем (современное состояние и перспективы) / Ю.В. Бородакий. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2011. – 368 с.
8. Кучук Г.А. Моделирование самоподобной пакетной нагрузки в телекоммуникационных сетях / Г.А. Кучук // Системы и средства передачи и обработки информации – ССПОИ-2004: тез. докл. 8 межд. науч.-практ. конф., 7-12.2004 – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2004. – С. 76.
9. Кучук Г.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Пашнев. – М.: Физматлит, 2006. – 220 с.
10. Кучук Г.А. Моделирование трафика мультисервисной розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук, І.Г. Кіріллов, А.А. Пашнев // Системи обробки інформації. – Х.: XV ПС, 2006. – Вип. 9 (58). – С. 50 – 59.
11. Jandaeng C. Review PSA. The Packet Scheduling Algorithm for Wireless Sensor Networks / C. Jandaeng, W. Suntiamentont, N. Elz // GRAPH-HOC International journal on applications of graph theory in wireless ad hoc networks and sensor networks. – 2011. – Vol. 3, no. 3. – P. 1 – 12.
12. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010. – Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
13. Кириченко Л.О. Алгоритм предупреждения перегрузки компьютерной сети путем прогнозирования средней длины очереди / Л.О. Кириченко, Т.А. Радивилова, А.В. Стороженко // Сборник научных трудов Харьковского университета Воздушных Сил. – 2007. – № 3(15). – С. 94–97.
14. Кучук, Г.А. Метод уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети [Текст] / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системы управления, навигации и связи: сб. науч. тр. – К.: Центр. НИИ навигации и упр., 2011. – Вып. 3 (19). – С. 209–213.
15. Кучук Г.А. Розрахунок навантаження мультисервісної мережі / Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасєва, О.О. Болюбаи // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 130 – 134.
16. Сирота, А.А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем [Текст] / А.А. Сирота. – М.: Техносфера, 2006. – 280 с.
17. Кучук, Г.А. Метод перераспределения пропускной способности для уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети [Текст] / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Сборник научных трудов Харьковского университета Воздушных Сил. – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 3 (29). – С. 140–145.

Поступила в редакцию 6.05.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ПРЕДИКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ТРАФІКУ В БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Ю.Ю. Завизиступ, Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Ж.В. Дейнеко

У статті запропонований метод предиктивного управління інтенсивністю трафіка в безпроводних мережах передачі даних. На основі моніторингу потоків даних на заданому інтервалі часу проводиться аналіз їх статистичних характеристик і здійснюється класифікація кожного з потоків по критерію значення показника Херста. Для цього запропонований метод оцінки значення показника Херста на основі дискретного вейвлет-перетворення, який не вимагає великого об'єму обчислень і дозволяє проводити аналіз потоків в реальному масштабі часу. Запропонований метод може бути використаний на транспортному рівні систем управління потоками даних безпроводних мереж.

Ключові слова: управління, оцінка, передача, трафік, мережа, показник, моніторинг, характеристика, фрактальність, масштаб.

TRAFFIC RATE PREDICTIVE CONTROL IN WIRELESS NETWORKS

Y.Y. Zavizistup, G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, J.V. Deyneko

The paper represents a method for traffic rate predictive control in wireless networks on the basis of a method for Hurst index evaluation. a method for Hurst index evaluation that can be used in traffic predictive control at transport layer of wireless networks. Such index is a basis for traffic fractality measure and can be used in innovative methods for traffic control for various types of computer networks. Moreover, it was proposed a method for Hurst index evaluation that can be used in traffic predictive control at transport layer of wireless networks. Such control is implemented at transport layer of wireless networks for a bottleneck link within the route of established connection. Based on monitoring of data flows within specified time interval, an analysis of their statistical characteristics, as well as their classification depending of Hurst index value, are being performed.

Keywords: control, evaluation, transmission, traffic, network, index, monitoring, characteristic, fractality, scale.