

УДК 681.3

Г.А. Кучук¹, А.С. Мохаммад², А.А. Коваленко²¹Харківський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Україна²Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

МЕТОД ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ

В данной статье предлагается метод перераспределения пропускной способности для уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети. Метод основан на применении усовершенствованной ON/OFF-модели трафика, использующей данные статистического мониторинга, которая, в отличие от аналогичных моделей, позволяет одновременно учитывать фрактальные свойства агрегированного трафика объединенных сетей и особенности беспроводных сетей, в частности, наличие хэндовера. Предложенный метод обеспечивает оптимальное использование выделяемой соединению пропускной способности, что приводит к уменьшению вероятности возникновения перегрузок и уменьшению времени передачи данных в беспроводных сетях.

Ключевые слова: беспроводная сеть, трафик, пакет, пропускная способность, интенсивность, хэндовер, перераспределение, очередь.

Введение

Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы. Современные высокоскоростные

системы передачи данных (СПД) характеризуются наличием в них большого количества узлов, которые используют много разнообразных сервисов, требующих обеспечения высокой интенсивности

обмена трафиком наряду с поддержанием требуемого уровня качества обслуживания для каждого из таких сервисов. Современные СиПД обычно содержат в своем составе в качестве подсистем беспроводные сети передачи данных (БСПД), на которые также возлагается выполнение общей задачи обмена информацией между взаимодействующими узлами. Для этого БСПД должны обеспечивать передачу данных с характеристиками, позволяющими обеспечить требования пользователей, обслуживаемых СиПД, в частности, обеспечить потенциальную возможность доступа к разделяемым ресурсам объединенной сети за приемлемое время.

На основании анализа типовой структуры, решаемых задач и процессов, протекающих в современных СиПД с БСПД, можно сделать следующие выводы [1 – 6]:

– основными внешними факторами, определяющими характер трафика БСПД, являются:

- разнообразие используемых приложений;
- большие объемы передаваемых данных;
- увеличение интенсивности трафика на критических участках (участках, имеющих относительно низкие пропускные способности на установленном маршруте);

– среди факторов, влияющих на изменение времени передачи пакета данных на критическом участке, можно выделить такие:

- интенсивность трафика,
- время коммутации пакета (зависящее от типа маршрутизатора и его характеристик),
- пропускная способность канала передачи данных;
- объем пакета данных;
- длина очереди пакетов данных к каналу;
- коэффициент загрузки канала служебной информацией;

– при передаче данных в объединенных сетях применяются различные методы перераспределения пропускной способности;

– фактором, который не учитывается в существующих методах перераспределения пропускной способности, является свойство фрактальности трафика, проявляющееся при объединении множества информационных потоков.

Согласно традиционным моделям трафика, методы перераспределения пропускной способности предполагают сглаживание трафика (например, применение метода статистического мультиплексирования [1, 2] или метода сглаживания интенсивности информационных потоков [3]). Однако, для трафика, обладающего свойством фрактальности, эти методы оказываются неэффективными, поскольку пропускная способность, предоставляемая сетью, используется не в полной мере.

Таким образом, задача разработки метода, позволяющего уменьшить время передачи данных в

БСПД за счет перераспределения пропускной способности на участке сети, имеющем наименьшую доступную пропускную способность на установленном маршруте, в том числе во время скачкообразного изменения интенсивности трафика, является **актуальной**.

Следовательно, **целью данной статьи** является разработка метода перераспределения пропускной способности, позволяющего уменьшить время передачи данных в беспроводной сети.

Результаты исследований

Основой предлагаемого метода является математическая модель трафика, обслуживаемого рассматриваемым участком БСПД. Так как в модели рассматривается участок сети, имеющий наименьшую доступную пропускную способность на установленном маршруте, и, кроме того, предполагается, что возможны скачкообразные изменения интенсивности трафика, то можно предположить, что моделируемый процесс обладает такими особенностями как фрактальность, долговременная зависимость, масштабная инвариантность и медленно затухающая дисперсия. В работах [7 – 10] показано, что процесс агрегирования трафика множества отдельных источников в объединенной сети (включающей также участки, построенные на БСПД), приводит к скачкообразным изменениям интенсивности трафика, и его можно рассматривать как фрактальный процесс, статистические характеристики которого проявляют свойства масштабной инвариантности.

Наиболее часто встречающейся в отечественной и зарубежной литературе моделью телекоммуникационного трафика, обладающего свойствами фрактальности, является ON/OFF-модель, которая также зачастую используется для объяснения физических причин фрактальных явлений в современных сетях передачи данных.

Традиционная ON/OFF-модель формирует процесс, который является процессом описания приращений фрактального броуновского движения. По своей сути это процесс, в котором чередуются два состояния: 0 или 1. В ON/OFF-модели рассматриваются две случайные составляющие процесса:

– время T_0 (время, проведенное в состоянии «0») – это случайная переменная с функцией плотности вероятности $w_0(t)$;

– время T_1 (время, проведенное в состоянии «1»), – случайная переменная с функцией плотности вероятности $w_1(t)$.

Согласно [9], функции $w_0(t)$, $w_1(t)$ можно представить следующим образом:

$$w_i(t) \sim t^{-(\alpha_i+1)},$$

где $i = 0, 1$; $\alpha_i \in (1, 2)$.

На основании анализа полученных временных рядов $\{w_i(t), t \geq 0\}$ строятся ON/OFF-модели трафика отдельных источников, которые отображают периоды активности данного процесса. Однако при этом не учитывается то, что в периоды активности каждого отдельного источника трафика передача пакетов осуществляется группами [11]. Также при этом не учитываются особенности беспроводных сетей.

Первый из вышеперечисленных факторов учтен в [11] за счет расширения традиционной ON/OFF-модели иерархической структурой учета периодов активности источника. Для этого для j -го источника ($j = \overline{1, N}$), задается разбиение интервала времени $[0, T]$ на $n_j^{(on)}$ периодов активности источника $i = \overline{1, n_j^{(on)}}$:

$$R_j^{(on)} = \left\{ t_{j,i}^{(on)} = \left\langle t_{j,i}^{(0)}, \Delta t_{j,i} \right\rangle \middle| i = \overline{1, n_j^{(on)}}; \right. \\ \left. t_{j,i+1}^{(0)} > t_{j,i}^{(0)} + \Delta t_{j,i}; t_{j,i}^{(0)} \in \left[0, T; t_{j, n_j^{(on)}}^{(0)} \leq T \right] \right\}, \quad (1)$$

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

Данное разбиение позволяет учесть порядок прохождения групп пакетов на каждом ON-интервале данного источника за счет ввода уточняющего разбиения

$$R_{j,i}^{(A)} = \left\{ t_{j,k}^{(A)} = \left\langle t_{j,i,k}^{(0)}, \delta t_{j,i,k} \right\rangle \middle| k = \overline{1, n_{j,i}^{(A)}}; t_{j,i,k}^{(0)} \in \mathfrak{S}_{j,k}^{(on)} \right\}, \quad (2)$$

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

Такое базовое разбиение временной оси для ON/OFF-модели учитывает иерархическую структуру периодов активности источника. Подобно Канторову множеству, такие периоды активности разбиваются на подпериоды, которые характеризуют передачу групп пакетов данных.

Таким образом, в модели учитываются две из перечисленных выше причин, обуславливающих проявление свойств фрактальности трафика: поведение пользователя и генерация трафика. Приведен-

ные выше выражения имеют единичную амплитуду и характеризуют поведение только одного пользователя.

Однако подвижность узла в беспроводной сети может являться причиной возникновения такого события как хэндовер [12, 13]. Поскольку местоположение узла непосредственным образом связано с его IP-адресом, следовательно, факт изменения IP-адреса при смене подвижным узлом базовой станции (точки доступа к сети) требует оповещения. Хэндовер является событием, которое может возникнуть при выходе подвижного узла из зоны обслуживания одной точки доступа вследствие его перемещения в зону обслуживания другой, и приводит к временному прекращению генерации трафика транспортным уровнем стека протоколов, с сохранением всех параметров передачи, и последующим восстановлением такой генерации в соответствии с сохраненными параметрами. Корректная обработка такого события позволяет подвижному узлу сохранять неразрывность соединения во время его перемещений и смены точек доступа к сети.

Для возможности учета хэндовера ON/OFF-моделью, предположим, что на временном интервале $[0, T]$ j -й узел L раз выходил из зоны обслуживания БСПД, при этом ℓ -й интервал хэндовера ($\ell = \overline{1, L}$) зададим как $h_{j,\ell} = \left(t_{j,\ell}^{(h)}, t_{j,\ell}^{(h)} + \Delta t_{j,\ell}^{(h)} \right)$ (рис. 1).

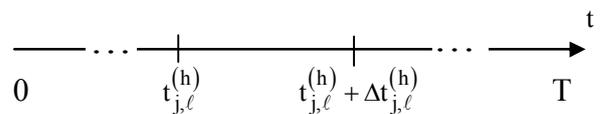


Рис. 1. ℓ -й интервал хэндовера

Это позволяет определить функцию временного сдвига в ON/OFF-модели, позволяющую учесть влияние хэндовера:

$$h_j(t) = t + \sum_{t_{j,\ell}^{(h)} < t} \Delta t_{j,\ell}^{(h)}, \quad (3)$$

$$t \in [0, T], \ell \in [0, L], t_{j,0}^{(h)} = T; \Delta t_{j,0}^{(h)} = 0.$$

С учетом функции (3), разбиения (1) и (2) позволят учесть особенности БСПД следующим образом:

$$R_j^{(BP, on)} = \left\{ h_j \left(t_{j,i}^{(on)} \right) = \left\langle h_j \left(t_{j,i}^{(0)} \right), \Delta t_{j,i} \right\rangle \middle| i = \overline{1, n_j^{(on)}}; \right. \\ \left. h_j \left(t_{j,i}^{(0)} \right) \in \left[0, T; h_j \left(t_{j, n_j^{(on)}}^{(0)} \right) \leq T \right] \right\}; \quad (4) \\ h_j \left(t_{j,i+1}^{(0)} \right) > h_j \left(t_{j,i}^{(0)} \right) + \Delta t_{j,i};$$

$$R_{j,i}^{(BP,A)} = \left\{ h_j \left(t_{j,i,k}^{(A)} \right) = \left\langle h_j \left(t_{j,i,k}^{(0)} \right), \delta t_{j,i,k} \right\rangle \mid k = 1, n_{j,i}^{(A)}; h_j \left(t_{j,i,k}^{(0)} \right) \in \mathfrak{Z}_{j,k}^{(on)} \right\}. \quad (5)$$

Разбиения (4) и (5) позволяют при построении ON/OFF-модели автоматически учитывать влияние хэндовера в БСПД, формализованное при помощи функции (3).

Отметим, что при отсутствии хэндовера ($L = 0$), сдвига по временной оси не происходит, т.е. $h_j(t) = t$, а, следовательно,

$$R_j^{(BP,on)} = R_j^{(on)}; \quad R_{j,i}^{(BP,A)} = R_{j,i}^{(A)}.$$

Зная скорости каждого отдельного источника, можно также прогнозировать значения интенсивности генерируемого им трафика в различные интервалы времени. Однако такая скорость не является постоянной величиной, что обусловлено методами распределения пропускной способности, основанными на обратной связи между источником и получателем. Для этого при построении ON/OFF модели необходимо аппроксимировать периодической функцией изменения скоростей источников трафика. Таким образом, фактически, можно говорить о периодичности (или о квазипериодичности) процесса, которая обусловлена применением метода распределения пропускной способности, основанного на обратной связи.

Каждый источник можно моделировать периодическими или квазипериодическими сигналами со значениями амплитуд A_j и частот ω_j . При объединении ансамбля квазипериодических источников, случайные совпадения близких к максимальным или минимальным значениям амплитуд будут иметь вид всплесков или спадов интенсивности в объединенном процессе на фоне более продолжительных, сглаженных участков на временной оси.

Помимо вариаций рассмотренных величин необходимо учитывать и вариации начала периода активности каждого источника в стохастической фазе, которая является аналогом вариации времени подключения различных отдельных источников. Поскольку функция Хевисайда [10] для случая $\delta t < \Delta t$ обладает свойством

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

а также принимая во внимание то, что выполняется условие $T_T \ll \delta t < \Delta t$ (где T_T – время передачи пакета данных на установленном маршруте), изменение скорости передачи, обусловленное управлением, основанным на обратной связи между адресатом и источником трафика в пределах заданного разбиения (4), (5), можно описать следующим выражением:

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

где $h_j \left(t_{j,i,k}^{(0)} \right)$ – момент начала процесса; $\gamma_{j,i,k}$ – коэффициент изменения скорости источника; $\ell_{j,i,k}$ – количество интервалов возрастания скорости передачи j -го источника на i -м интервале активности в пределах $\left[h_j \left(t_{j,i,k}^{(0)} \right), h_j \left(t_{j,i,k}^{(0)} \right) + \delta t_{j,i,k} \right]$; A_j – доступная скорость передачи для j -го источника; $\alpha_{j,i}$ – коэффициент, учитывающий вариации изменения скорости передачи;

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

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

Предложенные выражения (4) – (6) описывают поведение трафика отдельного источника на конкретном ON-участке непрерывной генерации трафика Факт вхождения рассматриваемого участка БСПД в некоторое множество возможных маршрутов предполагает агрегированность трафика, что позволит учесть еще одну причину возникновения фрактальности – объединение потоков данных на участке с относительно низкой пропускной способностью. ON/OFF-модель отдельного j -го источника на i -м интервале активности, которая учитывает и иерархическую структуру периодов его активности и вариации скорости, обусловленные применяемыми методами распределения пропускной способности в пределах интервала $\left[h_j \left(t_{j,i}^{(0)} \right), h_j \left(t_{j,i}^{(0)} \right) + \Delta t_{j,i} \right]$, исходя из выражения (6), имеет следующий вид:

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

а для интегрированного входного потока, интенсивность агрегированного трафика на входе рассматриваемого участка БСПД рассчитывается как

$$I(t) = \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^{n_j^{(on)}} I_{j,i}(t) \quad (7)$$

со следующими ограничениями:

$$I(t) \leq I_{\max}; \quad (8)$$

$$h_j(t) = t + \sum_{\substack{(h) \\ t_{j,\ell}^{(h)} < t}} \Delta t_{j,\ell}^{(h)}, \ell \in [0, L], t_{j,0}^{(h)} = T; \Delta t_{j,0}^{(h)} = 0; \quad (9)$$

$$\sum_{i=0}^{n_j^{(on)}} \Delta t_{j,i} \leq T_j; \quad \sum_{k=0}^{n_{j,i}^{(A)}} \delta t_{j,i,k} \leq \Delta t_{j,i}; \quad (10)$$

$$\alpha_{j,i} \ll 1; \quad T_T \cdot I_{j,i,k} < \delta t_{j,i,k}; \quad (11)$$

$$j \in \overline{1, N}; \quad i \in \overline{1, n_j^{(on)}}; \quad k \in \overline{1, n_{j,i}^{(A)}},$$

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

Полученная математическая модель (7) – (11), описывающая как потоки данных от одного источника, так и агрегированный трафик, в отличие от аналогов, учитывает реальные процессы в объединенных сетях передачи данных, включающих БСПД.

Данная ON/OFF-модель трафика БСПД позволяет предложить метод пропорционального распределения пропускной способности на участках БСПД с относительно низкой пропускной способностью, в котором на основе мониторинга потоков на входе участка БСПД необходимо производить анализ статистических характеристик входящих потоков трафика и, на основе классификации каждого из них по критерию значения показателя Херста, прогнозировать с учетом его значения предполагаемый объем трафика и, в соответствии с результатами прогнозирования, производить пропорциональное или приоритетное (с весовыми коэффициентами) перераспределение доступной пропускной способности такого участка. В данном методе предполагается, что если сумма максимальных прогнозируемых значений интенсивности потоков информационного трафика превышает значение суммарной пропускной способности участка БСПД для информационного трафика, то, в соответствии с процедурой извещения о перегрузке, источники снижают скорости отправки пакетов в сеть, позволяя избежать потери пакетов. Затем скорость отправки увеличивается в соответствии с алгоритмом аддитивного увеличения.

Выводы

Таким образом, в данной статье предложен метод перераспределения пропускной способности для уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети, который использует разработанную ON/OFF-модель трафика БСПД и позволяет учитывать свойства фрактальности информационного трафика и особенности беспроводных сетей. Тем самым

обеспечивается оптимальное использование выделяемой пропускной способности, что приводит к уменьшению вероятности перегрузок и ускорению передачи данных в БСПД.

Направление дальнейших исследований – анализ эффективности разработанного метода в гетерогенных сетях, включающих БСПД.

Список литературы

1. Крамаренко В.В. Інформаційні системи та структури даних [Текст] / В.В. Крамаренко // Дніпропетровськ: Системні технології. – 2000. – 188 с.
2. Кучук Г.А. Метод агрегування фрактального трафіка [Текст] / Г.А. Кучук, О.О. Можжаєв, О.В. Воробійов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 6(18). – С. 181 – 188.
3. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. [Текст] / Э. Таненбаум // СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
4. Телекоммуникационные системы и сети: Учебн. пос. В 3-х т. Т. 3. Мультисервисные сети [Текст] / В.В. Величко, Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославцев, под ред. В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 с.
5. Кучук Г.А. Управление ресурсами инфокоммуникаций [Текст] / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Паинев. – М.: Физматлит, 2006. – 220 с.
6. Поповский В.В. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах: учебник [Текст] / В.В. Поповский, В.Ф. Олейник. – Х.: ООО "Компания СМИТ", 2011. – 362 с.
7. Треногин Н.Г. Фрактальные свойства сетевого трафика в клиент-серверной информационной системе трафика [Текст] / Н.Г. Треногин, Д.Е. Соколов // Материалы Международной научно-технической конференции «Информатика и проблемы телекоммуникаций». – Новосибирск: СибГУТИ. – 2001. – С. 34-35.
8. Пащенко Р.Э. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов: Коллективная монография [Текст] / Р.Э. Пащенко, Г.А. Кучук, А.А. Можжаєв и др.; под ред. Р.Э. Пащенко // Х.: ЭкоПерспектива. – 2006. – 360 с.
9. Шелухин О.И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях [Текст] / О.И. Шелухин, А.М. Тенякшев, А.В. Осин // М.: Радиотехника. – 2003. – 480 с.
10. Willinger W.A Bibliographical Guide to Self-Similar Traffic and Performance for Modern High-Speed Networks [Текст] / W. Willinger, M. Taqqu, A. Erramilli // Stochastic Networks: Theory and Applications. – Oxford University Press. – 1996. – P. 282 – 296.
11. Воробійов О.В. Метод перерозподілу обчислювального ресурсу критичної ділянки мережі передачі даних АСУ [Текст] / О.В. Воробійов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 5 (63). – С. 26 – 35.
12. Manner J. Mobility Related Terminology [Текст] / J. Manner, M. Kojo. – Network Working Group, RFC 3753. 2004.
13. Мохаммад А.С. Метод перераспределения нагрузки базовой станции в технологии WIMAX [Текст] / А.С. Мохаммад, Ю.Ю. Завизиступ, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 5 (86). – С. 39 – 44.

Поступила в редколлегию 6.09.2011

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

**МЕТОД ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЧАСУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ
У БЕЗПРОВІДНІЙ МЕРЕЖІ**

Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко

У даній статті запропоновано метод перерозподілу пропускної здатності для зменшення часу передачі даних у безпроводній мережі. Метод заснований на застосуванні удосконаленої ON/OFF-моделі трафіку, що використовує дані статистичного моніторингу, яка на відміну від аналогічних моделей дозволяє одночасно враховувати фрактальні властивості агрегованого трафіку об'єднаних мереж і особливості безпроводних мереж, зокрема, наявність хендоверу. Запропонований метод забезпечує оптимальне використання пропускної спроможності, яка виділяється, що призводить до зменшення ймовірності виникнення перевантажень і зменшення часу передачі даних в безпроводних мережах.

Ключові слова: *безпроводна мережа, трафік, пакет, пропускна здатність, інтенсивність, хендовер, перерозподіл, черга.*

**METHOD OF BANDWIDTH REALLOCATION FOR DECREASING OF DATA TRANSFER TIME
IN WIRELESS NETWORK**

G.A. Kuchuk, A.S. Mohammad, A.A. Kovalenko

This paper proposes a method of bandwidth reallocation for decreasing of data transfer time in wireless network. The method is based on application of developed ON/OFF-model of traffic that uses statistical monitoring data, which, unlike other similar models, allows at the same time to take into account both fractal properties of the aggregated traffic and features of wireless networks, in particular, occurrence of handover. Proposed method assures the optimal usage of available bandwidth that results in both congestion probability decreasing and decreasing of data transfer time in wireless networks.

Key words: *wireless network, traffic, packet, bandwidth, rate, handover, reallocation, queue.*