

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО МЕХАНИЗМА АГРЕГАЦИИ С РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ ФРАГМЕНТОВ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ*В. П. Христов, Л. Р. Танева***A STUDY ON ADAPTIVE MECHANISM FOR AGGREGATION WITH FRAGMENTS RETRANSMISSION IN HIGH-SPEED WIRELESS NETWORKS***V. P. Hristov, L. R. Taneva*

Современные беспроводные компьютерные сети предлагают более высокую скорость передачи данных на физическом уровне и отличаются использованием высокоэффективных протоколов в слое контроля доступа к среде. В-AFR механизме, несколько пакетов бывают фрагментированы, а затем объединены в большой кадр и посланы, но в случае возникновения ошибок во время передачи, только поврежденные фрагменты кадра передаются повторно.

Целью данной работы является предложение адаптивного механизма агрегации с ретрансляцией фрагментов, чтобы создать соответствующий симулятор и изучить эффективность этого механизма агрегации, с учетом характеристик прикладных программ и трафика в магистральной сети Интернет. Производительность этого механизма агрегации рассматривается через симуляции, которые были разработаны в рамках модели GPSS. Полученные результаты подтверждают правильность предложенного подхода в развитии-AFR механизмов.

Modern wireless computer networks offer a higher-speed data transmission in the physical layer and use highly efficient protocols in the Medium Access Control layer. In the A-AFR mechanism, multiple packets are fragmented and then aggregated into a larger frame to be sent, but if errors occur during the transmission, only the corrupted fragments of the frame will be retransmitted.

The aim of this paper is to propose an adaptive mechanism for aggregation with fragments retransmission, to create an appropriate simulator, and to examine performance of this aggregation mechanism, taking into account characteristics of the applications and the traffic in the backbone Internet network. The performance of this mechanism for aggregation is examined through simulations which have been developed within GPSS model. The results confirm the correctness of the proposed approach in developing the A-AFR mechanism.

Ключевые слова: высокоскоростные беспроводные сети, адаптивный механизм агрегации с ретрансляцией фрагментов, протоколы передачи данных, сеть Интернет.

Keywords: high-speed wireless computer networks, adaptive mechanism for aggregation with fragments retransmission, data transmission protocols, the Internet.

Агрегация представляет собой процесс, в ходе которого несколько пакетов объединяются вместе в одном кадре для дальнейшей передачи по сети. При этом производительность повышается, потому что накладные расходы на передачу из многих пакетов сократилось до уровня трансфера только одного кадра. Метод AFR-агрегации с ретрансляцией фрагментов изложен в [2; 5; 6; 7]. Этот метод используется для улучшения производительности системы, применяя агрегацию пакетов, когда ретрансляция кадров происходит из-за изменяющихся во времени характеристик радиоканала. При этом размер кадров, которые должны быть повторно посланы, сравниваются с заданным порогом и если кадр меньше, чем этот порог, то он передается без изменений. Если кадр больше, то он делится на фрагменты, которые передаются по отдельности. В отличие от уже описанного, В-AFR механизм [9] имеет несколько фрагментированных пакетов, которые затем объединяются в большие рамы и посылаются в сеть. В случае возникновения ошибок во время передачи только поврежденные фрагменты кадра будут переданы повторно. Целью настоящей работы является предложить адаптивный механизм агрегации с ретрансляцией фрагментов, создать соответствующий симулятор и изучить эффективность

этого механизма агрегации с учетом прикладных требований и, в частности, трафика в магистральной сети Интернет.

Определение оптимальной длины фрагментов

Адаптивный механизм агрегации с ретрансляцией фрагментов (A-AFR), предлагаемый ниже, является улучшенной версией обычного AFR-механизма и улучшает производительность системы, разрешая вопросы в двух основных областях:

– во-первых, с ним время задержек на AFR агрегацию снизилось;

– во-вторых, количество повторных передач из-за ошибок (потерь) при агрегировании кадров сведено к минимуму за счет оптимизации [8] размеров фрагментов, образующих кадры.

Алгоритм для определения оптимальной длины фрагментов использует так называемый коэффициент эффективности в качестве критерия оптимальности. Коэффициент эффективности при передаче информации есть отношение объема (в байтах) успешно переданных фрагментов данных d , к общему количеству отправленных байтов (который включает в себя успешно переданные данные фрагментов d , а также повторно переданные утраченные фрагменты и фраг-

менты заголовков – с). В [9] предложена формула для расчета оптимального размера фрагмента. Он должен корректироваться дополнительными расходами на передачу заголовка фрагмента и избытком ретрансляции данных (весь фрагмент посылается повторно, даже если только один бит поврежден) после потери:

$$d = -c + \sqrt{c / BER}. \quad (1)$$

Из рис. 1 следует, что для широкого круга потерь – BER, можно ожидать, что роль метода не уменьшится существенно, если используются фрагменты с размером, близким к оптимальному. Это отражается соответствующим образом в аппаратной реализации AFR, например, с использованием FPGA, размер фрагмента должен быть установлен в 512 бит (почти оптимальный размер).

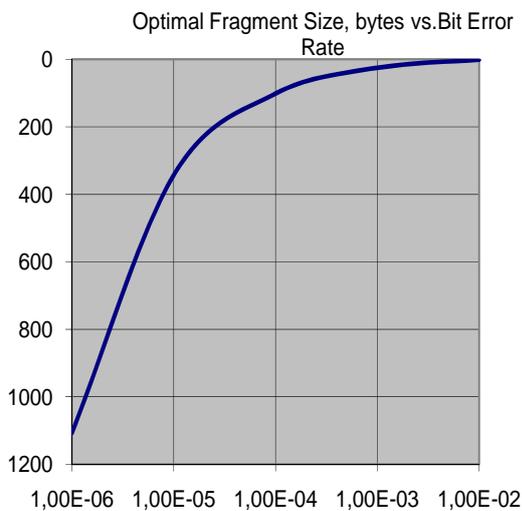


Рис. 1. Оптимальный размер фрагмента / BER

При определении оптимального количества фрагментированных пакетов, которые образуют агрегированный кадр, должно быть принято во внимание, что механизм агрегации достигает более высоких значений производительности при увеличении размера агрегированного кадра, но это достигается ценой увеличения задержки пакетов.

Время задержки агрегации

Механизмы агрегации, в том числе AFR-механизм, достигают более высокой производительности за счет увеличения размера агрегированного кадра (количества пакетов, которые формируют агрегируемый фрагмент). Другими словами, максимальная производительность достигается при максимальном размере кадра. Платой за это, конечно, является увеличение задержки пакетов.

Целью данного раздела является изучение задержки в агрегации, а также определение уровня оптимального использования ρ . Выше этого порога начинается агрегация и устанавливается таким образом, что задержки являются минимальными.

Известно, что максимальный размер кадра в каждой сети ограничен, т. е. использование кадров с произвольным больших размеров не представляется

возможным. Верхний предел размера кадра зависит от возможностей слоя РНУ и ограничивается внутренней памятью и размером буфера передачи для станций передачи. Для того, чтобы достичь 90 % эффективности на уровне MAC, максимальный размер кадра должна быть 32,768 байта в 216 Мбит скорость передачи данных и 65,536 байт со скоростью 648 Мбит. Таким образом, число агрегированных пакетов в кадре весьма ограничено.

Обозначим долю заголовка в кадре через h , а также введем в рассмотрение интенсивность прибытия пакетов λ и μ – скорость передачи пакетов (или скорость обработки). Тогда коэффициент загрузки или использования будет $\rho = \lambda / \mu$.

Предлагаемый в данной статье подход к определению оптимального количества агрегированных пакетов для AFR-адаптивного механизма использует известную формулу для времени ожидания в M/M/1 в системе:

$$T = \frac{1}{\mu - \lambda}, \quad (2)$$

где

μ – скорость передачи пакетов, λ – интенсивность рассылки пакетов.

Мы считаем, что время передачи кадра является временем для передачи заголовков этого кадра, сложным с временами для передачи всех индивидуальных пакетов в нем, определяемых числом n .

Для агрегации, в дополнение к (2), должно быть добавлено и среднее время, которое проходит с приходом каждого из предыдущих $n-1$ пакетов на момент прибытия последнего пакета:

$$T' = \frac{1}{\mu' - \lambda'} + \frac{n-1}{2\lambda'}, \quad (3)$$

где

n – количество агрегированных пакетов, μ' – скорость передачи агрегированного кадра, и λ' – интенсивность прибытия агрегированных кадров.

Интенсивность агрегированных монтажных кадров в n раз меньше, чем интенсивность прибытия пакетов, потому что эти кадры формируются после прибытия n отдельных пакетов $\lambda' = \lambda / n$.

Время передачи без агрегации ($1 / \mu$) является суммой времени необходимого для передачи заголовка и поля данных в кадре. Время передачи одного агрегированного кадра ($1 / \mu'$) является суммой времени для передачи заголовков этого кадра и данные n -количество пакетов, т. е. n раз время передачи без агрегации, но без $n-1$ раз времени передачи заголовков других $n-1$ пакетов.

Таким образом,

$$\mu' = \frac{\mu}{n - (n-1)h}. \quad (4)$$

Подставляя в (4) время ожидания на агрегацию, получим:

$$T' = \frac{1}{\frac{\mu}{n - (n-1)h} - \frac{\lambda}{n}} + \frac{n-1}{2\lambda}. \quad (5)$$

Приведенная выше формула дает время ожидания для агрегирования, выраженное через долю заголовков в кадре – h , количество агрегированных пакетов – n , интенсивность прибытия пакетов λ и скорость обслуживания – μ .

Позже в этой работе, формула (5) используется для аппаратной реализации адаптивного механизма агрегации с ретрансляцией фрагментов. Анализ (5) показывает, что время ожидания может быть сведено к минимуму с точки зрения количества агрегированных пакетов – n , (первое слагаемое уменьшается с ростом n , а второе растёт).

Адаптивный механизм агрегации с фрагментом ретрансляция

В обоих A-AFR и AFR механизмах MAC-кадр состоит из заголовка и тела. Все поля заголовков кадров остаются неизменными, но добавлены три новых поля – размер фрагмента, количество фрагментов и одно резервное (свободное) поле.

Тело кадра содержит заголовки фрагментов, тела фрагменты и управляющее поле *последовательности проверки FCS-фрагментов*.

Входящие агрегированные пакеты хранятся в буфере, а затем отправляются к месту назначения. Пакеты данных объединяются в один кадр и в начале кадра добавляется заголовок. Каждый кадр состоит из заголовка и определенного количества пакетов данных, но не превышающего максимальный размер кадра – 64 байта, т. е. максимальное количество пакетов данных, которые могут быть объединены, ограничено.

Ниже описаны три шага предлагаемого адаптивного механизма агрегации с повторной передачей фрагментов.

1. По параметрам радиоканала определяется расстояние до приемника, а также препятствия на пути помех, датчик определяет тип модуляции, скорость РНУ и размер фрагмента. Также он рассчитывает h – долю времени передачи заголовков (MAC и РНУ) и общее время передачи.

2. Время прибытия каждого пакета в буфер записывается, а также фиксируется разница между моментами прибытия последовательных пакетов (как и в [3]) рассчитывается интенсивность прибытия пакетов. Кроме этого, фиксируется время прибытия в буфер первых пакетов (HOL – Head Of Line). Если оно превышает максимально допустимое, то пакет сразу же отбрасывается (фрагменты таких пакетов убираются из буфера). Таким образом, пересылки аудио и видео потока данных могут выиграть от агрегации пакетов, сохраняя при этом задержку ниже заданного значения.

3. В противном случае, число пакетов – n , которые будут фрагментированы и агрегированы, определяется из полученных в шагах 1 и 2 мгновенных значений h и r таким образом, чтобы задержки сводились к минимуму. Для этого используется связь между ча-

стью кадра, определяющего заголовок и количеством агрегированных пакетов). Если количество пакетов в буфере больше, чем n , то только первые n из них будут агрегированы, а остальные будут ждать в буфере до следующего кадра. Агрегированный кадр, созданный из фрагментов пакетов, поступает в буфер, начиная с самых ранних прибытий (FIFO). Пакеты, приходящие во время передачи этого агрегированного кадра, не могут быть объединены в текущий кадр и будут ждать в буфере до следующего кадра агрегации.

В аппаратной реализации [1] этот адаптивный механизм агрегации должен быть закодирован в таблице зависимости между количеством агрегированных пакетов и долей заголовков в кадре и использован, если задержка агрегации сведена к минимуму (см. шаг 3). Мы находим оптимальные (где задержка минимальна) количество агрегированных пакетов – n , путем нахождения первой производной (5) и приравнивания ее к нулю.

Следующая работа [10], показывает, что трафик Интернета в основном значительно отличается от М/М/1 модели. По этой причине число агрегированных пакетов – n близко к оптимальной величине.

Анализ текущей структуры трафика производился по типу передаваемых пакетов, используя IP диаграммы. TCP-протокол значительно доминирует в структуре трафика. Около 95 % всех байтов, 90 % пакетов или 75 % потоков принадлежат TCP. UDP-протокол составляет 5 % байтов; 10 % пакетов или 20 % потока. Другие протоколы IP-IP v6, инкапсулированные IP-в-IP и ICMP дополняют остальное до 100 % (в структуре общего трафика). Видно, что почти 80 % из MSS-пакетов имеют длину менее 512 байт, что для TCP-пакетов составляет 552 байта. Около половины пакетов имеют размер 44 байта или меньше. С точки зрения данных, выраженных в байтах, которые будут проводиться в таких пакетах, они составляют 7 % всего количества данных. Более половины от размера данных в байтах содержатся в пакетах объемом 1500 байт или больше.

Имитационная модель и результаты

Ниже описывается имитационная модель, которая разработана на языке GPSS и использована для изучения эффективности предложенного механизма передачи реального трафика. Эта модель также позволит найти правильные оценки числа совокупных пакетов – n для некоторых параметров трафика в беспроводной сети (в отличие от способа нахождения первой производной в (5)).

Формальное описание модели. Во время агрегации пакетов проходят процессы, характерные для систем массового обслуживания, поэтому они могут быть представлены как системы с источником, очередью и объектами (Q-системы). На рис. 2 показана Q-схема, отражающая процессы обслуживания по предлагаемому механизму. Пусть с символом R обозначается порог буфера, а через X – текущий размер очереди в буфере.

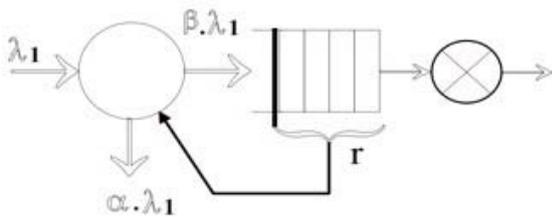


Рис. 2. Q-схема

Сетевая карта входящего потока пакетов и формирование фрагментов из этих пакетов моделируется источником G1. Интенсивность этого потока фрагментов обозначается как λ_1 . Фрагменты собираются в буфер Q, где они должны дожидаться обслуживания вплоть до момента перевода на соответствующий порт выхода сетевой карты. В зависимости от текущего размера очереди в буфере X и времени ожидания первых фрагментов, механизм агрегации решает, какие фрагменты будут обслуживаться. Значения h и ρ в это время используются для определения количества фрагментов R, которые будут агрегатироваться. Если количество фрагментов в буфере X больше, чем соответствующий порог – R ($R < X$), то только первые фрагменты R агрегируются, а другие фрагменты в буфере будут ждать следующего кадра. Агрегированный кадр, созданный из фрагментов находится в текущий момент в буфере, начиная с самого раннего прибытия (FIFO). Пакеты, приходящие во время передачи этого кадра, не могут быть фрагментированы и агрегированы до текущего кадра и будут ждать в буфере следующей агрегации кадров.

По прибытии каждого пакета в буфер он отмечается меткой времени и рассчитывается время ожидания в буфере для первых прибывших пакетов (HOL-Head Of Line). Если время превышает максимально допустимое время, то фрагменты этого пакета сразу же отбрасываются.

Таким образом, интенсивность изменений входящего потока должна быть такова, чтобы минимизировать время ожидания фрагментов и, следовательно, уменьшить размер очереди α и β – соответствующие вероятности для уничтожения или сохранения фрагмента во время агрегации).

Следует иметь в виду, что дискретный характер процессов в модели (получение пакетов из источников, сегментация фрагментов; буферизация и оккупация выходного порта (канала)) реализации осуществляется на языке GPSS (General Purpose Simulation System).

Алгоритм GPSS программы (рис. 3) в полной мере отражает вышеизложенную концепцию модели и содержит описание всех ее блоков, и также отражает логику модели.

Для того, чтобы проверить работу GPSS имитационной модели, она была запущена с экспоненциальным распределением времени прихода и обслуживания пакетов, и полученные результаты моделирования согласовались с результатами расчетов по формуле (5).

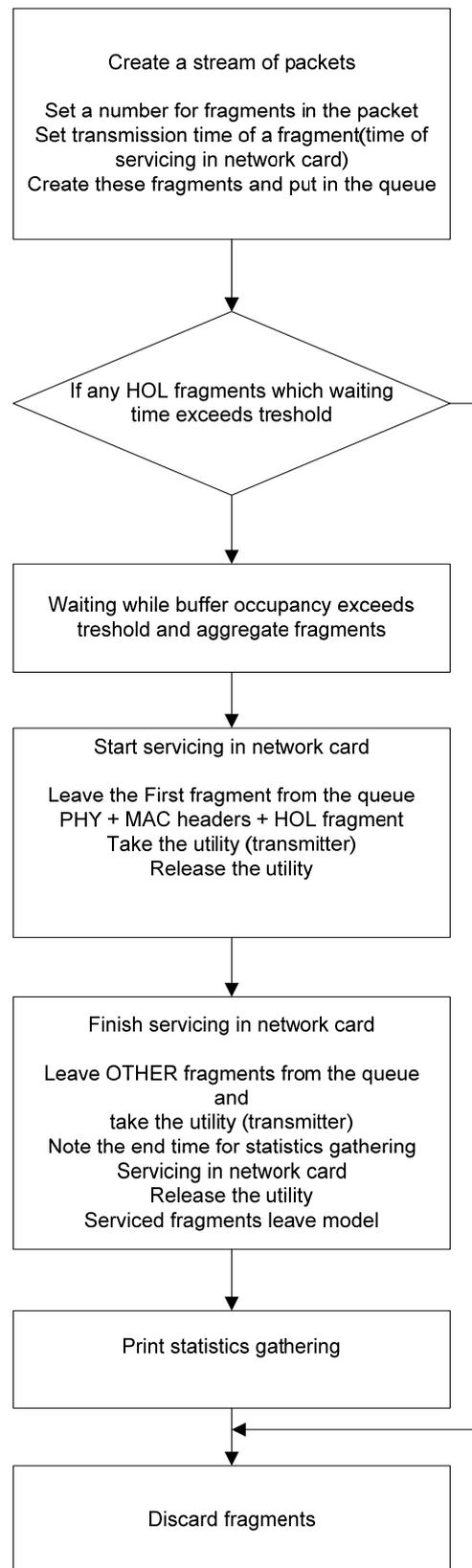


Рис. 3. Алгоритм GPSS имитационной модели

В этом случае изучены задержки A-AFR агрегации и более точно определены параметры влияние реальных источников и характеристик на трафик.

Также разработаны алгоритмы и программы на языке программирования C++ для нахождения оптимального количества агрегированных пакетов n при

сведения к минимуму задержки для различных значений h к ρ .

Таблица 1

Оптимальные (по минимуму задержки) значения агрегированных пакетов – n в зависимости от отношения h к ρ

$h \setminus \rho$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.3	-	1.1	1.1	1.2	1.5
0.4	-	1.1	1.1	1.3	1.7
0.5	-	1.1	1.2	1.5	1.8
0.6	1.1	1.1	1.3	1.6	1.9

Параметры для GPSS модели, полученные с помощью этой программы приведены в таблице 1. Результаты моделирования приведены на рис. 4 и рис. 5. Увеличение доли заголовков в кадре – h и / или количества агрегированных пакетов – n , увеличивает значение ρ , для которых задержки сведены к минимуму, что согласуется с анализом (5), сделанным ранее аналитически.

Кроме того, из результатов моделирования и анализа видно, что время ожидания может быть сведено к минимуму, поскольку первое слагаемое в (5) возрастает с увеличением λ , второе – уменьшается.

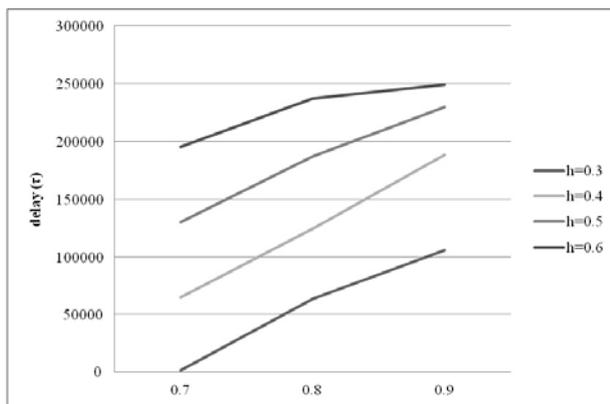


Рис. 4. Схема задержки в зависимости от нагрузки сети и транспортной системы

Литература

1. Chen, W. Synchronous fine-adjustable rate control circuit for ethernet congestion management / W. Chen. – Electronics letters. – Volume 44. – 2008. – P. 325 – 326.
2. Hong, J. On modeling, analysis, and optimization of packet aggregation systems / J. Hong, K. Sohraby // IEEE transactions on communications. – Volume 58. – 2010. – P. 660 – 668.
3. Hristov, V. Implementation of adaptive mechanism with aggregation and fragment retransmission for 802.11 wireless networks. Proceedings of international conference on information technologies / V. Hristov. – Varna, Bulgaria, 2011. – P. 169 – 174.
4. Jain, R. Level modeling of IEEE 802.16e mobile wimax networks: key issues / R. Jain, C. So-In, A. Tamimi // IEEE Wireless Communications. – 2008. – October. – P. 73 – 79.
5. Tianji, L. Aggregation with fragment retransmission for very high-speed WLANs. IEEE / L. Tianja // ACM Transactions on Networking. – Volume 17. – 2009. – P. 591 – 604.
6. Olteanu, A. Security overhead and performance for aggregation with fragment retransmission (AFR) in very high-speed wireless 802.11 LANs // A. Olteanu, Y. Xiao // IEEE Transactions on Wireless Communications. – Volume 9. – 2010. – P. 218 – 226.
7. Maaroufi, S. Performance evaluation of new MAC mechanisms for IEEE 802.11n. Global Information Infrastructure Symposium / S. Maaroufi, W. Ajib, H. Elbiaze. – 2007. – P. 39 – 45.

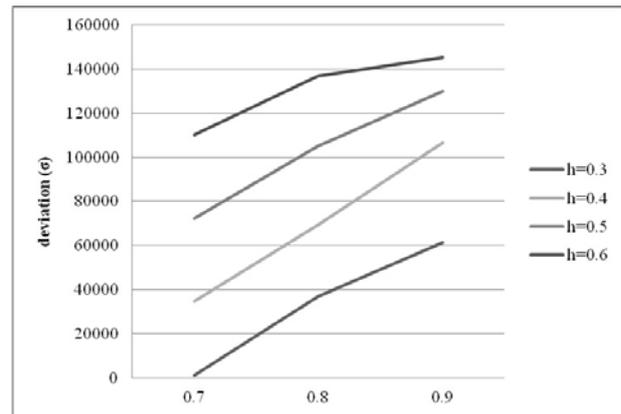


Рис. 5. Диаграмма отклонения в зависимости от нагрузки на сеть и системы движения

Сравнивая величины средней задержки и отклонения (рис. 4 и рис. 5), можно видеть, что среднее значение и стандартное отклонение значительно различаются. Это согласуется с нашим предложением о том, что обслуживание с агрегацией кадров из реального Интернет-трафика значительно отличается от из М/М/1 модели. Поэтому была создана и использована имитационная модель для исследования предложенного механизма агрегации с ретрансляцией фрагментов.

Заключение

На основе анализа агрегации задержки предлагается адаптивный механизм агрегации с ретрансляцией фрагментов (A-AFR-механизм).

Кроме того, разработана GPSS имитационная модели для изучения и исследования эффективности A-AFR механизма в отношении передачи трафика в реальном времени.

В работе изучено влияние параметров и характеристик источников трафика на задержку предлагаемой в этом механизме агрегации.

8. Туджаров, Б. WEB-базиран подход и средства за оптимизиране на логистична техника чрез структуриране на активи от знания / Б. Туджаров, Н. Казаков // Международна научно-приложна конференция, HCTech. – 2008. – 30 – 31 октомври.
9. Христов, В. Адаптивен агрегиращ механизъм с препредаване на фрагменти за високоскоростни безжични мрежи. Българско списание за инженерно проектиране, брой 7 / В. Христов, Б. Туджаров. – 2011. – С. 15 – 22.
10. Zhang, Z.-L. Small-time scaling behaviors of Internet backbone traffic: an empirical study; INFOCOM 2003 // Z.-L. Zhang, V. J. Ribeiro, S. Moon [et al.] // Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies. – Minnesota Univ., MN, USA.
11. Режим доступа: <http://www.vbns.net/presentations/papers/MCItraffic.ps>

Информация об авторах:

Христов Валентин Петрович – профессор, заведующий кафедрой компьютерных систем и технологий Юго-Западного университета, Благоевград, България, +359895581133, v_hristov@swu.bg.

Valentin P. Hristov – Professor, Head of the Department of Computer Systems and Technology, South West University, 66 Ivan Michailov str, Blagoevgrad, 2700, Bulgaria.

Танева Людмила Р. – ассистент кафедры компьютерных систем и технологий Юго-Западного университета, Благоевград, България, +359887210714, lusy_t@yahoo.com.

Liydmila R. Taneva – assistant Lecturer at the Department of Computer Systems and Technology, South West University, 66 Ivan Michailov str, Blagoevgrad, 2700, Bulgaria.