

УДК 681.324:621.325

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ ДАННЫХ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ

А.А. Можяев<sup>1</sup>, С.М. Порошин<sup>1</sup>, М.А. Можяев<sup>2</sup>, Ю.Ю. Завизиступ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный технический университет "ХПИ", 61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21

<sup>2</sup>Харьковский Национальный Университет им. В.Н. Каразина, 61072, г. Харьков, пл. Свободы, 4

<sup>3</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 61166, г. Харьков, пр.Ленина, 14

Поступила в редакцию 11 марта 2010

Проведено исследование влияния протоколов TCP Vegas и TCP Reno на равномерность распределения доступной соединению пропускной способности. При гетерогенном управлении наблюдаются колебания размеров плавающих окон соединений различными протоколами. Предложена модификация алгоритма управления текущим окном протокола TCP Vegas. Приведены результаты имитационного моделирования гетерогенного управления процессом передачи данных в сети. Проведен анализ результирующего трафика передачи данных в результате которого установлено, что этот трафик характеризуется параметром Херста  $H=0,75$ , что свидетельствует о его фрактальном характере.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** протокол TCP, совместимость протоколов, сетевые протоколы, телекоммуникационная сеть, плавающее окно, моделирование взаимодействия

Проведено дослідження впливу протоколів TCP Vegas і TCP Reno на рівномірність розподілу доступної з'єднанню пропускної здатності. При гетерогенному управлінні спостерігаються коливання розмірів плаваючих вікон сполук різними протоколами. Запропоновано модифікацію алгоритму управління поточним вікном протоколу TCP Vegas. Наведено результати імітаційного моделювання гетерогенного управління процесом передачі даних у мережі. Проведено аналіз результируючого трафіку передачі даних в результаті якого встановлено, що цей трафік характеризується параметром Херста  $H = 0,75$ , що свідчить про його фрактальному характері.

**КЛЮЧЕВІ СЛОВА:** протокол TCP, сумісність протоколів, мережеві протоколи, телекомунікаційна мережа, плаваюче вікно, моделювання взаємодії

Studied the effect of TCP Vegas and TCP Reno in the uniformity of distribution of available connection bandwidth. In heterogeneous management observed variations in size of floating windows compounds for various protocols. A modification of the control algorithm of the current window of TCP Vegas. The results of simulation of heterogeneous process control data in the network. The analysis of the resulting data traffic as a result of which revealed that this traffic is characterized by the Hurst parameter  $H = 0,75$ , which indicates its fractal nature.

**KEY WORDS:** TCP, protocol compatibility, network protocols, telecommunication network, a floating window, simulation

### ВВЕДЕНИЕ

Исследованию взаимодействия потоков данных в гетерогенных компьютерных сетях в настоящее время посвящено большое число работ [1-4]. Это обусловлено тем, что большинство существующих в настоящее время и проектируемых сетей являются гетерогенными, т.е. состоящими из фрагментов различной топологии и управляемых различными протоколами сетевого уровня (TCP) [4,5]. В настоящее время протоколы TCP претерпели многократные изменения (протоколы TCP Tahoe, TCP Reno, TCP NewReno и TCP SACK). Особенностью этих протоколов является повышенное внимание, которое уделяется фазе восстановления потерь. Протокол TCP Vegas, который является перспективным сетевым протоколом, обладает большей эффективностью и характеризуется меньшим количеством повторений передач пакетов по сравнению с протоколом TCP Reno. Но протокол TCP Vegas не лишен и недостатков, которые существенно снижают эффективность его применения в современных широкополосных сетях. Одним из таких недостатков является: неравноправие распределения доступных ресурсов сети, возникающее при одновременном существовании в канале потоков TCP Vegas и TCP Reno и дисбаланс между скоростью передачи данных и потенциальными параметрами сети. Следовательно, задачи преобразования протокола TCP Vegas которая позволит увеличить эффективность его функционирования и анализ особенностей трафика гетерогенных компьютерных сетей, являются актуальными.

Целью данной статьи является изучение взаимодействия потоков данных, управляемых протоколами TCP Vegas и TCP Reno и анализ особенностей трафика гетерогенной компьютерной сети.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим гетерогенную компьютерную сеть, в которой пакеты данных, управляемые протоколами TCP Vegas и TCP Reno занимают общий канал с пропускной способностью  $C$  пакетов/с, и задержкой распространения сигнала равной  $T_p$  секунд. Каналом управляет маршрутизатор с коэффициентом обслуживания  $\mu \leq C$  пакетов/с. Очевидно, что общая пропускная способность на маршруте будет определяться пропускной способностью канала, являющегося узким местом данного маршрута.

Отличие протокола TCP Vegas от протокола TCP Reno заключается в том, что он управляет скоростью отправки пакетов, основываясь на оценке доступного размера полосы пропускания соединения, динамически изменяя размер передаваемого окна пакетов. В случае, когда ожидаемая и реальная скорости практически равны сеть считается не перегруженной. То есть, при перегрузке, реальная скорость будет меньше ожидаемой. Для управления перегрузками сети необходимо совершить следующие операции:

- вычисляем ожидаемую скорость отправки пакетов в сеть:

$$V_o = \frac{W_v}{T_{\min}}, \quad (1)$$

где  $V_o$  – ожидаемая скорость,  $W_v$  – текущий размер плавающего окна соединения, а  $T_{\min}$  – минимальное значение  $T$  для данного соединения за период отсутствия перегрузки (обычно, за время передачи первого пакета данных);

- определяем реальную скорость отправки пакетов в сеть:

$$V_p = \frac{W_v}{T_p}, \quad (2)$$

где  $V_p$  – реальная скорость, а  $T_p$  – текущее значение параметра  $T$ ;

- источник оценивает количество пакетов, находящихся в очереди маршрутизатора:

$$D = (V_o - V_p) \cdot T_{\min}; \quad (3)$$

- производится коррекция текущего размера плавающего окна  $W(t)$ :

$$W(t) = \begin{cases} W(t-1) + 1, & \text{если } D < \alpha \\ W(t-1) - 1, & \text{если } D > \beta \\ W(t-1), & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (4)$$

где  $\alpha$  - сглаживающий коэффициент процедуры вычисления длительности цикла повторной передачи пакета данных, а  $\beta$  - коэффициент дисперсии времени распространения сигнала на текущем маршруте.

Проанализировав предложенный алгоритм можно прийти к выводу, что в случае достаточного совпадения ожидаемой и реальной скоростей, установленное соединение не использует всей полосы пропускания, что вынуждает повышать скорость передачи данных. Если существующая скорость намного меньше ожидаемой, это говорит о том, что сеть перегружена и установленное соединение обязано снизить скорость передачи.

Информация о потере пакета производится либо истечением таймера (времени подтверждения получения передачи), либо получением трех подряд дублирующихся пакетов подтверждений. Следовательно, протокол TCP Vegas основан на улучшенном механизме повторной передачи [2]. После фазы быстрой повторной передачи протокол TCP Vegas изменяет размер своего плавающего окна как  $3/4$  текущего значения плавающего окна после чего вновь запускается фаза предотвращения перегрузок.

### МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ФАЗЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПЕРЕГРУЗОК ПРОТОКОЛА TCP VEGAS

В гетерогенных сценариях потери пакетов могут происходить при превышении суммарным количеством трафика емкости  $C$  соединения, являющегося узким местом на маршруте. Условие отсутствия потерь можно записать так:

$$\frac{W_v(t)}{T_R(t)} + \frac{W_r(t)}{T_R(t)} \leq C, \quad (5)$$

где  $W_v(t)$  и  $W_r(t)$  - размеры плавающих окон источников трафика протоколами TCP Vegas и TCP Reno, соответственно;

$T_R(t)$  - времени распространения сигнала в сети .

Размер плавающего окна  $W_r$  протокола TCP Reno равен [5]:

$$W_r(t) = \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}}, \quad (6)$$

где  $K_r$  – константа.

В равновесной точке можно получить следующее выражение для  $W_v(t)$  согласно [5]:

$$W_v(t) = T_R(t) \cdot C - W_r(t). \quad (7)$$

Подставив выражение (6) в (7), получим:

$$W_v(t) = T_R(t) \cdot C - \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}}. \quad (8)$$

Учитывая зависимость времени распространения сигнала  $T_R(t)$  от  $q(t)$  - размера очереди в маршрутизаторе канала и от  $T_p$  - времени распространения сигнала в соединении можно (8) представить в виде:

$$W_v(t) = q(t) + T_p \cdot C + 1 - \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}}. \quad (9)$$

Следовательно, для гетерогенной сетевой среды, получены выражения определяющие размеры плавающих окон протоколов TCP Reno (6) и TCP Vegas (9), соответственно.

Оптимальность загрузки гетерогенной сети достигается при равномерном распределении доступных ресурсов. Оценка равномерности распределения доступных ресурсов сети между одновременно существующими соединениями протоколами TCP Reno и TCP Vegas по аналогии с [5] будет проводиться путем анализа соответствующего показателя:

$$F = 0.5 \cdot \left( \frac{(W_r(t) + W_v(t))^2}{W_r^2(t) + W_v^2(t)} \right), \quad (10)$$

упростив (10), получим

$$F = 0.5 + \frac{W_r(t) \cdot W_v(t)}{W_r^2(t) + W_v^2(t)}. \quad (11)$$

Преобразуем это выражение с учетом (6), (9):

$$F = 0.5 + \frac{\left( \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}} \right) \cdot \left( T_R(t) \cdot C - \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}} \right)}{\left( \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}} \right)^2 + \left( T_R(t) \cdot C - \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}} \right)^2}. \quad (12)$$

Проведем анализ зависимости  $F$  от вероятности потери пакетов  $p$  и произведения величины полосы пропускания канала на задержку в нем  $TC$  (рис. 1). Величина  $p$  варьируется в интервале от  $10^{-4}$  до  $10^{-1}$ , что соответствует размеру плавающего окна протокола TCP Reno от 163 до 5 пакетов, а значение  $TC$  от 1 до 40 пакетов. Протокол TCP Vegas испытывает несправедливость распределения доступной полосы пропускания левее гребня, в то время как протокол TCP Reno испытывает несправедливость распределения доступных ресурсов канала справа от гребня.

Анализ зависимости величины  $F$  от величин  $W_r$  и  $TC$  проведем на основе изучения соответствующего графика, представленного на рис. 2. Он демонстрирует, что баланс справедливости между протоколами TCP Reno и TCP Vegas сдвигается в пользу первого при больших значениях произведения доступного размера полосы пропускания канала на задержку в нем.

Выражение для  $F$ , приведенное в выражении (12), было получено в случае соединения TCP Vegas и TCP Reno в единственном числе. При последующем анализе необходимо исследовать случай, когда  $N_v$  соединений протоколом TCP Vegas и  $N_r$  соединений протоколом TCP Reno загружены в один канал, являющийся узким местом, и имеющий емкость  $C$ [5].

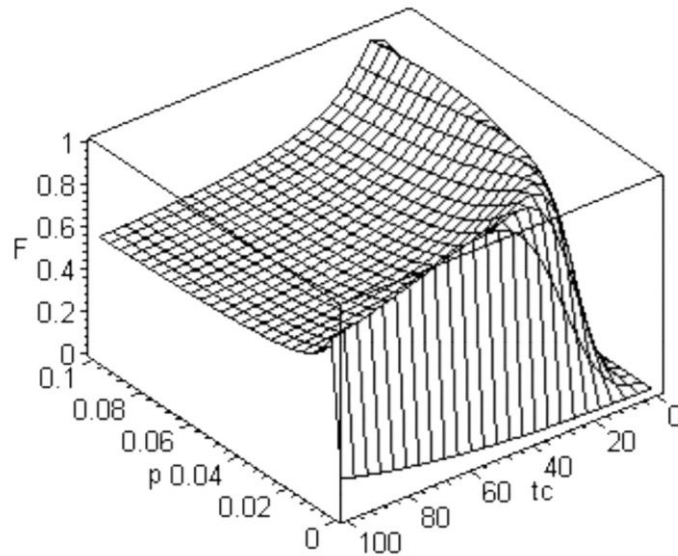
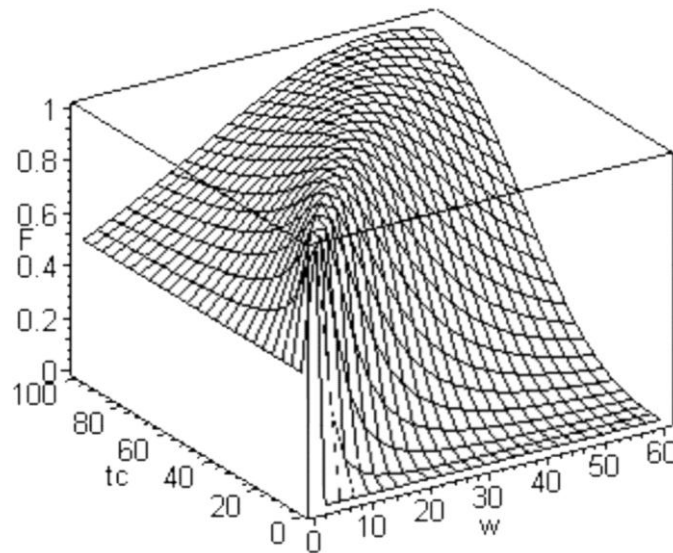


Рис. 1. Зависимость величины F от вероятности отбрасывания пакета очередью и величины TC

Рис. 2. Зависимость величины F от величин W<sub>r</sub> и TC

Время передачи пакетов для всех соединений TCP Vegas и TCP Reno будет равным, если задержка прямого и обратного распространения сигнала  $T_p$  равна для всех соединений, поскольку у каждого из них будет одинаковая задержка постановки в очередь  $q(t)/C$ . Следовательно, для случая равновесного состояния, получается следующее выражение:

$$\frac{N_v \cdot W_v(t)}{T_R(t)} + \frac{N_r \cdot W_r(t)}{T_R(t)} = C. \quad (13)$$

Проведя исследования, аналогичные случаю единственного гетерогенного соединения можно получить выражение для значения показателя равномерности распределения F:

$$F = 0.5 + \frac{\frac{T_R(t) \cdot C \cdot K_r}{N_v \cdot \sqrt{p(t)}} - \frac{N_r \cdot K_r^2}{N_v \cdot p(t)}}{\left( \frac{T_R(t) \cdot C}{N_v} - \frac{K_r \cdot N_r}{\sqrt{p(t)} \cdot N_v} \right)^2 + \frac{K_r^2}{p(t)}}. \quad (14)$$

Анализ показателя равномерности распределения F подтверждает, что и в случае большого числа гетерогенных соединений имеется возможность управлять распределением сетевых ресурсов с помощью варьирования параметров  $\alpha$  и  $\beta$  от которых зависят размер текущего окна (4).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ ДАННЫХ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ

Для проверки возможности управления распределением сетевых ресурсов в гетерогенной компьютерной сети было проведено имитационное моделирование. Результаты имитационного моделирования были получены при использовании ns-2. Топология моделируемой сети с одним узким местом показана на рис. 3 [4,5].

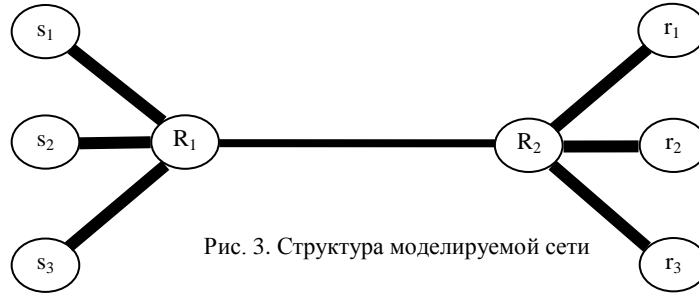


Рис. 3. Структура моделируемой сети

Сначала было проведено моделирование для случая, когда в канале, являющимся узким местом, установлены три соединения протоколами TCP Reno. Результат для равных значений  $T_r$  у всех соединений приведен на рис. 4 (а), из которого видно, что мгновенное значение пропускной способности каждого из протоколов нестабильно даже при отсутствии фонового трафика. Результат для различных значений  $T_r$  приведен на рис. 4 (б).

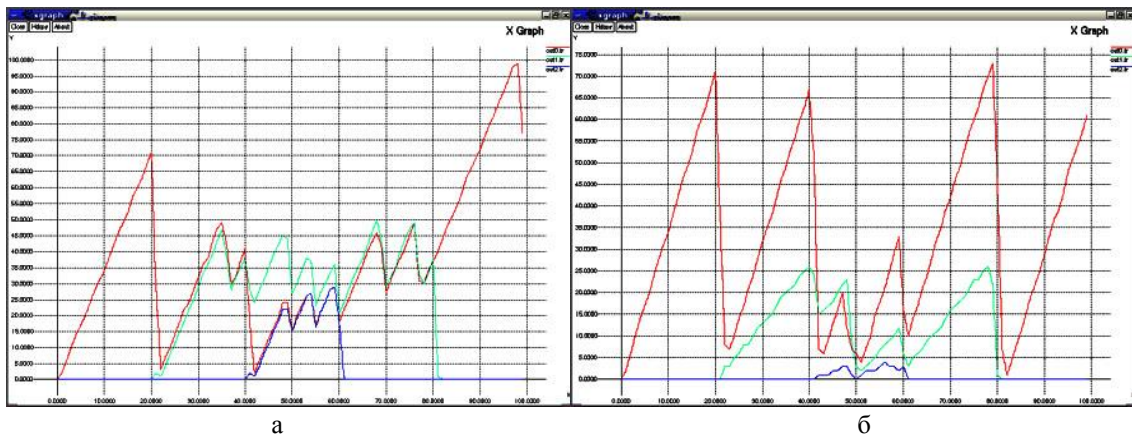


Рис. 4. Зависимость пропускной способности соединений от времени для сценария, включающего одновременное существование трех соединений протоколами TCP Reno

Справедливость распределения ресурсов канала находится на достаточном уровне. Поведение обоих соединений в течение всего времени моделирования идентично.

Если же соединения протоколом TCP Reno будут заменены протоколом TCP Vegas, то также сохраняется хорошая стабильность значений, как пропускной способности, так и размеров плавающих окон. Доступная пропускная способность канала делится поровну, что является хорошим результатом.

На рис. 5 промоделирован сценарий гетерогенной среды: одновременного существования потоков протоколами TCP Reno и TCP Vegas. Прослеживается характерная неравномерность распределения доступных ресурсов сети по отношению к протоколу TCP Vegas, что приводит к значительному снижению скорости соединения протоколом TCP Vegas в присутствии соединения TCP Reno в этом же канале.

В дальнейшем был проведен анализ изменения пропускной способности от параметров  $\alpha$  и  $\beta$  и построены результирующие графики зависимости изменений пропускной способности протоколов TCP Reno и TCP Vegas для различных значений  $\alpha = \beta$ , а также значений дисперсии величины плавающего окна от значений  $\alpha$  и  $\beta$ , которые представлены на рисунке 6.

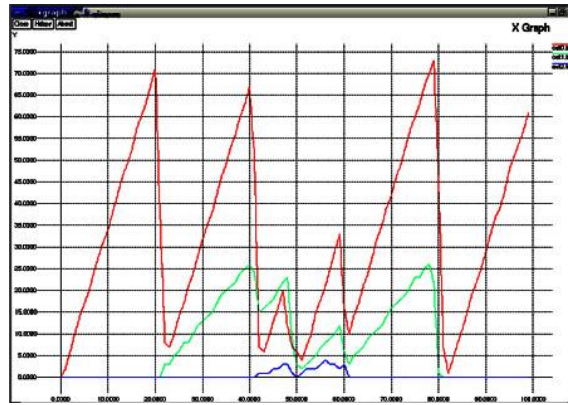


Рис. 5. Зависимость пропускной способности соединений от времени для гетерогенного сценария

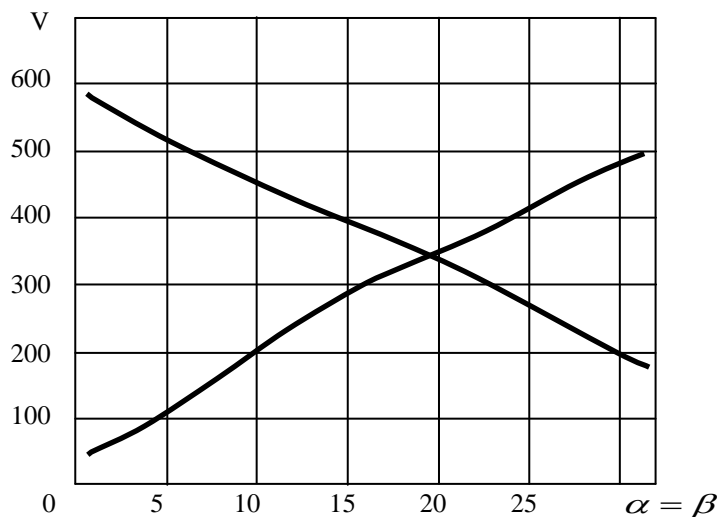


Рис. 6. Изменение пропускной способности протоколов TCP Reno (убывающая кривая) и TCP Vegas (возрастающая кривая) для различных значений  $\alpha = \beta$ .

Изменения пропускной способности соединений протоколов TCP Reno и TCP Vegas при различных значениях  $\alpha$  и  $\beta$  оказывают существенное влияние на характер сетевой трафик исследуемого участка ТКС. В работе было проведено моделирование вариаций трафика, вызванного резкими изменениями пропускной способности

Следующим этапом экспериментальных исследований было проведение оценки возможного фрактального характера результирующего трафика. Для этого полученная в результате имитационного моделирования [6] реализация трафика была подвергнута статистическому анализу. Полученные в результате исследований значения показателя Херста  $H=0,75$  и  $H_i>0,5$  свидетельствуют о том, что результирующий трафик является фрактальным [6]. Таким образом, установлено, что трафик в гетерогенной сетевой среде обладает фрактальными характеристиками.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено:

1. Эффективность протокола TCP Vegas может быть улучшена в гетерогенной среде с помощью варьирования параметров  $\alpha$  и  $\beta$ .
2. В случае гетерогенного управления передачей данных в сети наблюдаются колебания размеров плавающих окон обоих соединений протоколом TCP Vegas.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Fall and S. Floyd. «Simulation based comparisons of Tahoe, Reno and SACK TCP». Computer Communications Review, 26(3):5–21, July 1996.

2. Lawrence S. Brakmo and Larry L. Peterson. «TCP Vegas: End-to-End Congestion Avoidance on a Global Internet». IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 13(8):1465-1480, Oct 1995.
3. Коваленко А.А., Завизиступ Ю.Ю., Партыка С.А., Проблемы производительности протокола TCP в гетерогенных сетях и методы ее улучшения//Вестник ХНТУ.–2005.–№1(21).–С.305-311.
4. Коваленко А.А. Динамічне керування параметрами протоколу TCP Vegas//Системи озброєння і військова техніка.–2007.– 2(10).–С.81-86.
5. Можаяев А.А., Подорожняк А.А., Ильина И.В., Коваленко А.А. Усовершенствование транспортных протоколов в мультисервисных сетях// Системи обробки інформації Збірник наукових праць.- Харків:ХУ ПС.–2007.–Вип.5(63).– С 86.-92.
6. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов // Кучук Г.А., Можаяев А.А., Пашенко Р.Э, Руккас К.М. Коллективная монография. – Х.: ЭкоПерспектива, 2006. – 360 с.