

УДК 681.3

Ю.Ю. Завизиступ<sup>1</sup>, А.А. Коваленко<sup>1</sup>, А.С. Мохаммад<sup>1</sup>, М.А. Можаяев<sup>2</sup><sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков<sup>2</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОТОКОЛОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

В данной статье проведен анализ факторов, влияющих на пропускную способность протокола TCP, а также рассмотрены аспекты функционирования различных модификаций протокола TCP в беспроводных сетях на основе таких критериев как величина размера плавающего окна и время передачи пакета в установленном соединении. Предложена модификация протокола TCP, позволяющая частично компенсировать снижение пропускной способности при потере большого количества сегментов данных.

**Ключевые слова:** протокол, беспроводная сеть, трафик, плавающее окно, пропускная способность.

### Введение

**Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы.** В современном мире беспроводные сети играют важную роль. Технологии сети Интернет успешно положительно зарекомендовали себя в фиксированных сетях, однако, в беспроводных сетях все иначе. Такие факторы как увеличение количества ресурсов в сети Интернет, тенденция к увеличению степени мобильности абонентов, конвергенция технологий передачи разных типов трафика, а также появление мобильных приложений вызывают немалый интерес к вопросу обеспечения эффективной передачи разнородного трафика с помощью беспроводных сетей.

В настоящее время ведутся активные исследования в области методов качественного и количественного улучшения передачи трафика в сетях беспроводной связи. Их можно разделить на две группы – решения транспортного и канального уровней.

Протокол TCP является самым распространенным транспортным протоколом в современных компьютерных сетях, обеспечивая гарантированную доставку данных между узлами. Кроме того, в функции протокола TCP входит сегментация и сборка пользовательских данных, а также управление потоком и предотвращение возникновения перегрузки [1, 2]. В случае беспроводных сетей, преобладающую роль играют ошибки канального уровня. Согласно своему алгоритму, протокол TCP руководствуется предположением, что любая потеря пакетов происходит вследствие перегрузки, что является верным при инфраструктуре с надежными каналами. Однако, в мобильной среде, потери преимущественно обусловлены климатическими условиями, физическими препятствиями, электромагнитными помехами, степенью мобильности конечных устройств, а также ослаблением и затуханием сигнала. С целью увеличения пропускной способности протокола в этих сетях были предложены различные алгоритмы и методы, реализованные в таких

модификациях как TCP Tahoe, TCP Reno, TCP SACK, NewReno, Snooper-TCP, M-TCP и I-TCP [3].

Недостатки существующих модификаций протокола TCP заключаются в таких аспектах, как неполное взаимодействие с существующей инфраструктурой сети, влияние шифрования трафика промежуточными узлами на целостность сети, несовпадение маршрутов доставки пакетов данных и пакетов подтверждений, а также появление на маршруте участка с недостаточной пропускной способностью.

На сегодняшний день существующие работы в области увеличения пропускной способности соединения транспортным протоколом в беспроводной сети можно разделить на следующие категории:

- работы, связанные с разбиением соединения на составные части вдоль маршрута [4];
- работы, связанные с влиянием шифрования данных, производимого на канальном уровне [5];
- работы, связанные с модифицированием протокола TCP.

Данная статья является изучением подходов к модифицированию протокола TCP, которое производится исключительно в конечных узлах соединения, не затрагивая промежуточные элементы сети.

**Целью данной статьи** является проведение анализа факторов, влияющих на пропускную способность различных реализаций протокола TCP при потере большого количества пакетов, что характерно для беспроводных и подвижных сетей.

### Теоретическая часть

**Особенности передачи данных в беспроводных сетях.** На эффективность передачи данных в беспроводных сетях существенное влияние оказывают задержки и ошибки канального уровня. В условиях постоянного перемещения абонентов характер ошибок постоянно меняется и плохо поддается прогнозированию.

При анализе факторов, влияющих на производительность беспроводных сетей, были выделены следующие:

– совместная работа абонентов в одном диапазоне частот, что приводит к распределению доступной пропускной способности между всеми абонентами;

– зависимость скорости передачи от уровня мощности сигнала, что обуславливает снижение пропускной способности при удалении абонента от точки доступа;

– неправильное определение необходимого количества точек доступа и их нерациональное распределение для обеспечения требуемых условий покрытия зоны обслуживания;

– затухание электромагнитного сигнала при преодолении естественных препятствий;

– радиопомехи;

– наличие служебной информации и межкадрового интервала;

– использование дополнительных методов шифрования, повышающих избыточность информации, а также увеличивающих время обработки пакетов.

В качестве причин потерь пакетов данных в беспроводных сетях можно выделить следующие:

– возникновение канальных ошибок, обусловленных ухудшением параметров связи;

– воздействие случайных помех, которые являются структурированными и иногда периодическими;

– разрыв линии связи при переходе мобильного абонента из одной соты в другую.

На основании проведенного анализа был разработан сценарий моделирования, позволяющий наглядно показать влияние вносимых изменений на работу протокола TCP.

Согласно источнику [6], производительность долгоживущего соединения в беспроводной сети может быть получена с помощью моделирования поведения механизма предотвращения перегрузок конкретной реализации протокола TCP при предположении, что потери пакетов происходят с постоянной интенсивностью. Также подразумевается, что потери пакетов обусловлены исключительно перегрузками в сети. Можно получить количество пакетов, переданных за интервал между получением сообщений о потерях пакетов. Обозначим среднее число таких пакетов и среднюю длительность такого интервала как  $Y$  и  $A$ , соответственно. Тогда, средняя производительность соединения TCP может быть вычислена следующим образом:

$$B = \frac{Y}{A}.$$

Рассмотрим два типа потерь пакетов: потери, происходящие по причине беспроводной среды и потери, происходящие по причине перегрузки.

Предположим, что потери по причине беспроводной среды происходят с постоянной интенсивностью  $p$ , которая может быть вычислена как

$$p = \left(1 - (1 - e)^S\right)^4,$$

где  $e$  – интенсивность потерь в беспроводном канале, а  $S$  – размер пакета.

Потеря пакета по причине перегрузки происходит, когда размер окна протокола TCP достигает значения  $W_M$ , которое может быть вычислено как

$$W_M = \frac{C_d}{S} \cdot RTT_{\min} + M,$$

где  $RTT_{\min}$  – наименьшее время передачи пакета в установленном соединении;  $C_d$  – размер полосы пропускания беспроводного соединения, а  $M$  – размер буфера получателя.

**Имитационное моделирование.** Ниже представлены результаты сравнительного анализа протоколов TCP Reno, Tahoe и SACK, в беспроводной среде, которые получены с помощью среды моделирования OpNet [7].

Анализ заключался в исследовании зависимости пропускной способности от количества потерь пакетов. Для этого была разработана имитационная модель для топологии, приведенной на рис. 1.

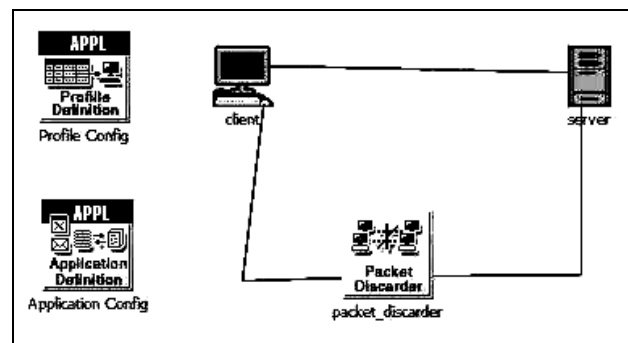


Рис. 1. Моделируемая топология сети

Соединение устанавливается между узлами CLIENT и SERVER, с пропускной способностью 1,5 Мбит/с. Модуль PACKET DISCARDER отвечает за отбрасывание части пакетов, проходящие через него, имитируя потери. Количество отброшенных пакетов задается до запуска сценария и в данном случае равно 4 пакетам за каждые 500 мс. Исходные реализации протокола TCP интегрированы в OPNET и состоят из процесса tcp\_manager\_v3 и его дочернего процесса tcp\_conn\_v3. С помощью протокола FTP осуществляется передача файла размером 1,6 МБ от узла SERVER к узлу CLIENT. Для оценки каждой из рассматриваемых реализаций протокола TCP использовался размер плавающего окна и время передачи пакета.

На рис. 2, б представлены зависимости размера плавающего окна от времени моделирования для протокола TCP Tahoe при потере одного (левая кривая) и четырех (правая кривая) сегментов. Из графика следует, что разница в поведении протокола TCP Tahoe для этих случаев незначительна. На рис. 2, а и в представлены сценарии, при которых происходят потери одного и четырех пакетов, для протоколов TCP Reno и SACK, соответственно. Из рис. 2, а – в видно, что при потере одного сегмента TCP SACK показывает лучший результат, чем протоколы Reno и Tahoe.

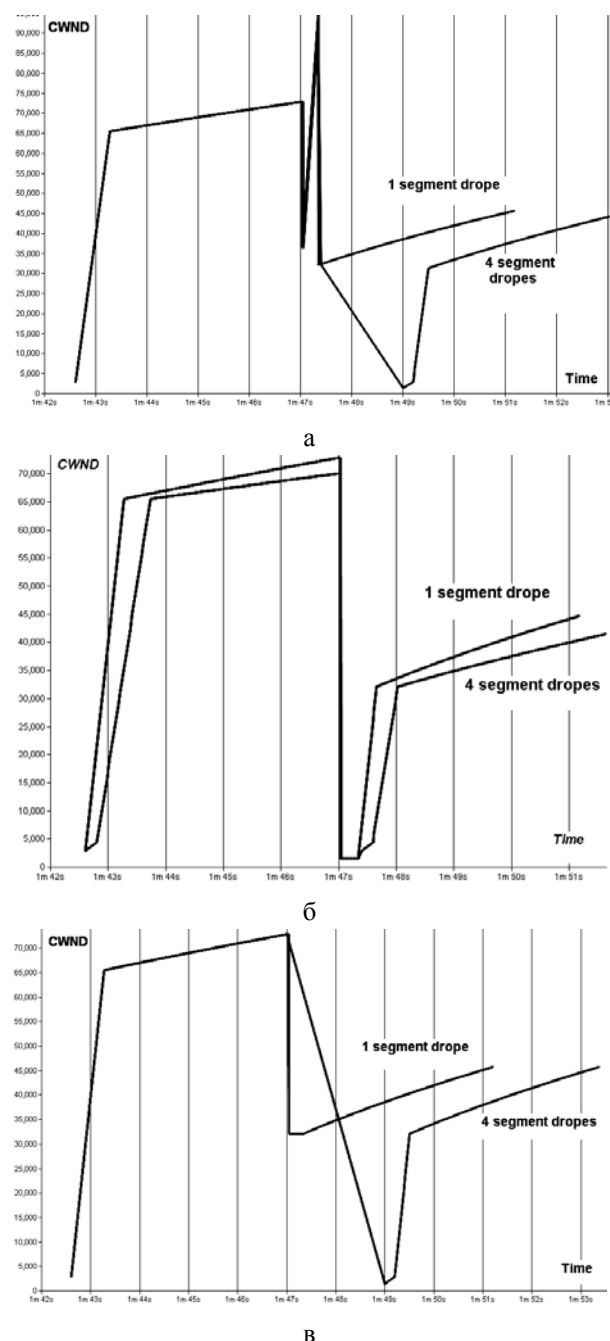


Рис. 2. Зависимость размера плавающего окна от времени моделирования для модификаций протокола TCP: а – Reno; б – Tahoe; в – SACK

На рис. 3, а показаны зависимости размера плавающего окна и времени передачи пакета от времени моделирования, соответственно, для протоколов TCP Tahoe, Reno и SACK при одновременной потере 4 пакетов. В данном сценарии наибольшей пропускной способностью обладает протокол TCP Tahoe, что обусловлено особенностями его механизма управления перегрузками. Рис. 3,б представляет зависимость времени передачи пакета в установленном соединении от времени моделирования для аналогичного предыдущему сценарию.

Изучение результатов моделирования позволяет прийти к выводу, что пропускную способность

протокола TCP в беспроводной среде можно увеличить с помощью:

- использования увеличенного размера границы медленного старта, что положительно отразится на передачах сообщений размером в несколько сегментов;
- использования увеличенного максимального размера сегмента, что способствует более быстрому увеличению размера плавающего окна протокола TCP;
- отказа от использования сжатия заголовков пакетов данных, которое может привести к некорректной обработке пакетов данных промежуточными сетевыми элементами.

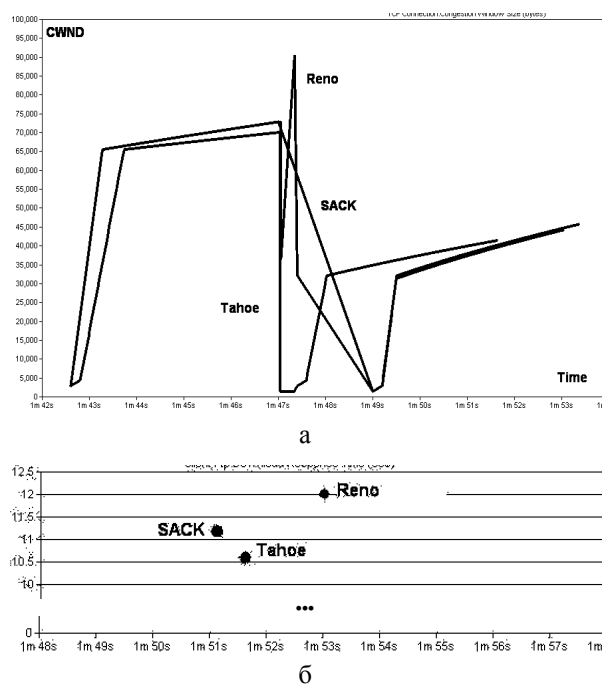


Рис. 3. Зависимость размера плавающего окна (а) и времени передачи пакета в установленном соединении (б) от времени моделирования при потере 4 пакетов

Ниже представлен перечень рекомендаций по увеличению пропускной способности протокола TCP Tahoe в беспроводных сетях, для чего необходимо внести следующие модификации в его механизм управления перегрузками:

- 1) необходимо уменьшить количество дублирующихся пакетов подтверждений до 2, что способствует уменьшению задержки до повторной передачи потерянного сегмента;
- 2) увеличение нижней границы фазы медленного старта до 3 значений максимального размера сегмента приведет к более быстрому росту размера плавающего окна после таймаута;
- 3) увеличение значения размера плавающего окна при запуске фазы избегания перегрузок до 0,75 его предыдущего значения приведет к более быстрому восстановлению скорости передачи данных после потери.

Результуюча залежність розміра перегруженого вікна від часу для модифікованого і стандартної версії протоколу TCP Tahoe після внесення пропозованих модифікацій, приведена на рис. 4, а. На рис. 4, б приведена залежність часу передачі пакета в установленному з'єднанні від часу моделювання для стандартної версії протоколу TCP Tahoe і пропозованої модифікації, із якої видно явне переважання останньої.

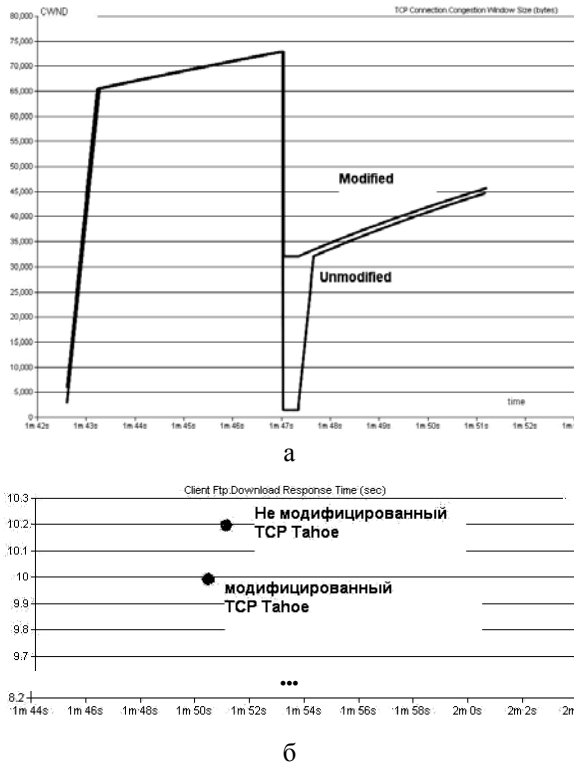


Рис. 4. Залежність розміру перегруженого вікна (а) і часу передачі пакета в установленному з'єднанні (б) від часу моделювання для стандартної версії протоколу TCP Tahoe і його пропозованої модифікації

## Выводы

Применение пропозованих модифікацій дозволяє досягти збільшення пропускної спроможності протоколу TCP в бездротовій мережі за рахунок скорочення

часу, необхідного для відновлення розміру плаваючого вікна після втрати пакета, а також зменшення часу передачі пакета в установленному з'єднанні. Крім того, збільшується час перебування протоколу в фазі повільного старту, що призводить до більш швидкого збільшення розміру плаваючого вікна, ніж у стандартної версії протоколу.

Однак, впровадження пропозованих модифікацій в версії протоколу TCP, функціонуючі в звичайних мережах, не призводить до аналогічних результатів. Задачею перспективних досліджень виділяється дослідження балансу, при якому модифікації протоколу TCP будуть однаково ефективні в обох типах мереж, а також дослідження впливу різних факторів.

## Список литературы

1. Завизиступ Ю.Ю. Метод компенсації втрат продуктивності протоколу TCP при переході мобільного вузла в сусідню зону обслуговування в бездротових мережах / Ю.Ю. Завизиступ, А.А. Коваленко, А.С. Мохаммад // Збірник наукових праць ХУПС. – Х., 2007. – Вип. 1(13). – С. 56-60.
2. TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit and Fast Recovery Algorithms. – Network Working Group, RFC: 2001, W. Stevens, January 1997.
3. Vastola K. S. Analytic models for the latency and steady-state throughput of TCP Tahoe / K.S. Vastola, B. Sikdar, S. Kalyanaraman // Reno, and SACK – Piscataway, NJ, USA, December 2003. – Vol. 11, Issue 6. – P. 959-971.
4. Elaarag H. Improving TCP performance over mobile networks / H. Elaarag // ACM – New York, NY, USA, September 2002. – Vol. 34, Issue 3. – P. 357-374.
5. Kunz T. Improving Performance of TCP in Mobile Environment / T. Kunz. – Anup Pradhanang, April 15, 2004. – 16 p.
6. Modeling TCP throughput: A simple model and its empirical validation / J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, J. Kurose // Proceedings of ACM SIGCOMM'98. – 1998. – P. 303-314.
7. OpNet simulator [Електронний ресурс]. – Режим доступу до джерела: <http://www.opnet.com>.

Поступила в редакцію 30.04.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОТОКОЛІВ У БЕЗДРОВОНИХ МЕРЕЖАХ

Ю.Ю. Завизиступ, А.А. Коваленко, А.С. Мохаммад, М.О. Можяєв

У даній статті проведено аналіз факторів, що впливають на пропускну спроможність протоколу TCP, а також розглянуто аспекти функціонування різноманітних модифікацій протоколу TCP у бездротових мережах. Запропоновано модифікацію протоколу TCP, що дозволяє частково компенсувати зниження пропускної спроможності під час втрат великої кількості сегментів даних.

**Ключові слова:** протокол, бездротова мережа, трафік, плаваюче вікно, пропускна спроможність.

## CHARACTERISTICS OF PROTOCOLS THAT OPERATE IN WIRELESS NETWORKS

Y.Y. Zavizistup, A.A. Kovalenko, A.S. Mohammad, M.A. Mozhaev

This paper provides analysis of the factors that effect on TCP's throughput, as well as reviews aspects of various TCP implementations in wireless networks. A modification of TCP was proposed; it allows to compensate partially decrease of throughput during multiply data losses.

**Keywords:** protocol, wireless network, traffic, floating window, throughput.