

УДК 681.3

Г.А. Кучук¹, А.С. Мохаммад², А.А. Коваленко²

¹ Харьковський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Україна

² Харьковський національний університет радіоелектроніки, Україна

МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОТОКОЛОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

В данной статье предложен метод параметрического управления передачей данных, позволяющий модифицировать транспортные протоколы, в частности TCP Freeze, использующиеся в современных беспроводных сетях, с целью уменьшения времени передачи данных. Такой метод основан на динамическом изменении, в зависимости от условий в беспроводной сети, параметров протокола, которые в его оригинальной версии задаются статически. В результате использования предложенного метода уменьшается время передачи данных в беспроводных сетях, в частности, вследствие обработки события хэндовер.

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

Введение

Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы. Вопросы, связанные с процессом функционирования современных беспроводных сетей передачи данных (БСПД) в настоящее время достаточно активно исследуются [1 – 9]. Кроме того, за последние годы было предложено множество улучшений для различных протоколов

транспортного уровня (как правило, протоколов семейства TCP) БСПД.

Однако, все еще существует ряд преград, не позволяющих таким протоколам в полной степени использовать потенциал современных высокоскоростных БСПД вследствие неоптимальности распределения доступных ресурсов сети, возникающей при одновременном существовании в канале потоков с различными модификациями протоколов, в том чис-

ле и транспортного уровня, а также ситуаций, возникающих при динамическом изменении маршрута соединения и возможном несоответствии скорости потока данных параметрам сети.

Кроме того, использование принципиально разных методов управления передачей данных различными протоколами транспортного уровня БСПД приводит к различной скорости прироста размеров соответствующих плавающих окон, и, как следствие, к различной скорости в единицу времени. Такие процессы оказывают значительное влияние на эффективность протоколов, а также увеличивают количество повторных передач пакетов.

Таким образом, на сегодняшний день не существует однозначного решения, позволяющего одновременно с совместным использованием различных реализаций транспортных протоколов в современных БСПД в полной мере реализовать потенциал пропускной способности сети

В статье проводится подробный анализ вышеперечисленных проблем, и на его основе предлагается модификация метода управления передачей данных, использующегося в протоколе TCP Freeze [10], позволяющая в значительной степени большинство из них устранить. Эффективность предлагаемой модификации не зависит от значений основных параметров протокола и от методов управления буферами, реализованных в маршрутизаторах.

Кроме собственного метода управления перегрузками, отличающегося от метода, реализованного в других модификациях протокола TCP, и позволяющего достигать большей эффективности вследствие меньшего количества повторных передач пакетов и более корректной обработки события хэндовер, протокол TCP Freeze реализует метод, снижающий влияние соединений с относительно большой задержкой распространения сигнала в соединении.

Модификацию протокола TCP Freeze можно реализовать, осуществив декомпозицию метода управления передачей данных на различные фазы функционирования, определив характер их влияния на основные характеристики протокола. Кроме того, эффективность протокола также зависит от дисциплины обслуживания очередей маршрутизаторов БСПД, через которые проходит установленный маршрут. Таким образом, всегда существует неизбежный компромисс между взаимной справедливостью и эффективностью используемых протоколов транспортного уровня БСПД, зависящий, в частности, от используемых дисциплин управления очередями промежуточных маршрутизаторов.

Таким образом, задача создания и исследования новых методов, позволяющих протоколам транспортного уровня современных БСПД достигать большей пропускной способности в разнообразных сетевых сценариях, является **актуальной**.

Целью данной статьи является разработка метода параметрического управления передачей данных для использования протоколом TCP Freeze с целью повышения его пропускной способности в современных беспроводных сетях передачи данных.

Результаты исследований

Наиболее распространенными на сегодняшний день методами передачи данных, использующимися в протоколах транспортного уровня беспроводных сетей, являются методы, производящие оценку доступного соединения размера полосы пропускания беспроводного канала связи, руководствуясь событием потери пакета как мерой перегрузки. Такие методы реализованы, в частности, в протоколах семейства TCP Reno. Этот подход имеет ряд идентифицированных недостатков [9, 10], которые приводят к излишним потерям пакетов и сильным флуктуациям размера плавающего окна, что негативно сказывается на использовании соединениями канала связи, в особенности беспроводного.

В свою очередь, перспективные реализации протоколов транспортного уровня, реализующие механизмы установления соединения, квитирования и плавающего окна, к которым, в частности, относится TCP Freeze [10], используют принципиально иные методы передачи данных, которые управляют скоростью отправки пакетов источником на основе собственной оценки доступного соединению размера полосы пропускания беспроводного канала связи. Для получения такой оценки вычисляется разность между ожидаемой (теоретически возможной в данный момент времени при конкретных условиях в сети) и реальной скоростями отправки пакетов в сеть. Признаком отсутствия перегрузки сети в таком случае выступает приближенное равенство между ожидаемой и реальной скоростями. В случае перегрузки реальная скорость будет значительно меньше ожидаемой.

Таким образом, реализация механизма управления перегрузками протокола TCP Freeze может быть сведена к последовательному выполнению следующих шагов:

1. Вычисление ожидаемой (теоретически) скорости отправки пакетов источником в сеть:

$$V_o = \frac{W(t)}{T_b},$$

где $W(t)$ – текущий размер плавающего окна протокола TCP Freeze, а T_b – минимальное измеренное значение времени передачи пакета для данного соединения (как правило, непосредственно после установления соединения).

2. Вычисление реальной скорости отправки пакетов источником в сеть:

$$V_p = \frac{W(t)}{T_p},$$

где T_p – реальное (измеренное) значение времени передачи пакета в установленном соединении.

3. Оценка источником количества пакетов, находящихся в очереди маршрутизатора, выполняемая для каждого принимаемого пакета подтверждений:

$$\delta = (V_o - V_p) \cdot T_b.$$

4. Вычисление очередного значения размера плавающего окна на основании разницы скоростей δ , полученной на предыдущем шаге, и значения размера плавающего окна в предыдущий момент времени:

$$W(t) = \begin{cases} W(t-1) + 1, & \text{если } \delta < \alpha; \\ W(t-1) - 1, & \text{если } \delta > \beta; \\ W(t-1), & \text{если } \alpha \leq \delta \leq \beta, \end{cases} \quad (1)$$

где α – сглаживающий коэффициент в процедуре вычисления длительности цикла таймера повторной передачи пакета данных, а β – коэффициент дисперсии времени передачи пакета в установленном соединении.

Таким образом, при близости ожидаемой и реальной скоростей источника, соединение не использует весь доступный размер полосы пропускания беспроводного канала; для увеличения коэффициента использования канала необходимо увеличивать скорость отправки данных источником. В случае, когда реальная скорость значительно ниже ожидаемой, сеть является перегруженной и, скорость отправки данных источником необходимо снижать.

Непосредственно после установки соединения, протокол TCP Freeze инициирует фазу медленного старта, и остается в ней до достижения параметром δ некоторого статически заданного параметра – порогового значения γ . До тех пор, пока соблюдается условие $\delta < \gamma$, происходит экспоненциальное увеличение размера плавающего окна (на один пакет за такт обработки).

Следующая фаза протокола TCP Freeze, а именно фаза предотвращения перегрузок, инициируется при достижении размером плавающего окна порогового значения, либо справедливости условия $\delta > \gamma$. Такая фаза характеризуется наличием двух статически заданных параметров – пороговых значений α и β , а размер плавающего окна изменяется в соответствии с условием (1).

При нахождении в любой из фаз, методами управления передачей данных, используемыми в протоколе TCP Freeze, потеря пакета может быть обнаружена в результате наступления любого из двух событий:

– истечение таймера повторной передачи пакета данных: пороговое значение выхода из фазы медленного старта устанавливается в половинное значение текущего размера плавающего окна, а размер плавающего окна сбрасывается до статически за-

данной величины с последующим иницированием фазы медленного старта;

– получение трех подряд пакетов подтверждений с одинаковым номером следующего ожидаемого пакета данных: в таком случае инициируется фаза быстрой повторной передачи и быстрого восстановления, с последующей установкой размера плавающего окна в статически заданную величину и иницированием фазы предотвращения перегрузок.

В результате всех нововведений, реализованных в протоколе TCP Freeze, и соответствующих им преимуществ (лучшая эффективность, меньшие флуктуации размера плавающего окна и значительно меньшее количество повторных передач пакетов), существует ряд недостатков, негативно сказывающихся на возможности его внедрения в современных беспроводных сетях, которые заключаются в следующем:

– непропорциональность перераспределения пропускной способности беспроводного канала при одновременном существовании потоков трафика с методами управления, использующими признак потери пакета в качестве меры перегрузки. Такая непропорциональность обусловлена количеством буферной памяти на маршруте, занятой пакетами того или иного потока;

– динамическое изменение маршрута активного соединения, приводящее к неожиданному и непредсказуемому изменению измеряемого протоколом времени передачи пакета и соответствующему изменению размера плавающего окна;

– постоянная перегрузка в сети, вследствие неправильной оценки протоколом величины задержки в установленном соединении (как результат задержки постановки пакетов в очередь, обусловленной наличием пакетов других соединений).

Для разрешения первого недостатка возможно применение метода [11], который в качестве сигнала изменения маршрута предполагает использование длительного последовательно увеличивающегося значения времени передачи пакета (поскольку такое увеличение происходит преимущественно вследствие увеличения задержки в новом маршруте, а не по причине перегрузки). Однако поиск оптимальных значений параметров протокола в таком случае остается нерешенной задачей. Кроме того, на пропорциональность распределения пропускной способности канала механизмом управления передачей данных протокола TCP Freeze, также влияет время существования соединения, поскольку, когда начинается перегрузка, измеряемое значение времени передачи пакета увеличивается, а рост размера плавающего окна замедляется, в отличие от недавно установленных соединений [12, 13].

Рассмотрим новое соединение, открывающееся после того, как в сети началась перегрузка. Для данного соединения значение T_b на $(i + 1)$ -м такте ($T_b(i + 1)$)

будет больше чем $T_b(i)$, а, следовательно, отношение $T_b(i+1)/T_{i+1}$ будет больше отношения $T_b(i)/T_i$, поскольку значения T_i и T_{i+1} практически равны. Условием для начала уменьшения размера плавающего окна является следующее [11]:

$$W(t) > \frac{\beta}{1 - T_b/T_p}.$$

Условием начала увеличения размера плавающего окна является следующее:

$$W(t) < \frac{\alpha}{1 - T_b/T_p}.$$

Пропускная способность соединений транспортными протоколами в беспроводных сетях. Пропускная способность соединения в беспроводной сети определяется наименьшей пропускной способностью канала, входящего в рассматриваемый маршрут, при условии отсутствия перегрузки в сети. Пусть, размер очереди в маршрутизаторе беспроводного канала, который имеет наименьшую пропускную способность на установленном маршруте, равен $q(t)$ пакетов. Примем размеры плавающих окон источников трафика протоколами TCP Freeze и TCP Reno равными $W_v(t)$ и $W_r(t)$, соответственно. Тогда, наименьшее время передачи пакета данных в установленном соединении, T_b , и актуальное значение времени передачи пакета $T_R(t)$ можно записать как:

$$T_b = T_p + \frac{1}{\mu}, \quad (2)$$

$$T_R(t) = T_p + \left(\frac{q(t)+1}{\mu} \right), \quad (3)$$

где T_p – время распространения сигнала в соединении, μ – интенсивность обслуживания.

Во время фазы предотвращения перегрузок размер плавающего окна W_r протокола TCP Reno рассчитывается как [10]:

$$W_r = \sqrt{\frac{8}{3p}}, \quad (4)$$

где p – вероятность потери пакетов.

Выражение (4) можно обобщить следующим образом:

$$W_r(t) = \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}}, \quad (5)$$

где K_r – константа.

Аналогичным образом, выражение для пропускной способности протокола TCP Reno, $V_r(t)$, имеет вид:

$$V_r(t) \equiv \frac{W_r(t)}{T_R(t)} = \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}} \cdot \frac{1}{T_R(t)}. \quad (6)$$

Подставив выражение (3) в (6), получим:

$$V_r(t) = \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}} \cdot \frac{\mu}{\mu \cdot T_p + q(t) + 1}.$$

С целью анализа пропускной способности протокола TCP Freeze в фазе медленного старта, удобно привязаться к количеству пакетов соединения, находящихся в буферах промежуточных узлов маршрута, δ . Тогда:

$$\delta = \left(\frac{W_v(t)}{T_b} - \frac{W_v(t)}{T_R(t)} \right). \quad (7)$$

С учетом выражений (2) и (3), выражение (7) можно переписать следующим образом:

$$\delta = W_v(t) \cdot \left(\frac{q(t)}{q(t) + C \cdot T_p + 1} \right) \cdot T_b.$$

Аналогичным образом, для фазы предотвращения перегрузок, справедливо следующее:

$$W_v(t+1) = \begin{cases} W_v(t) + 1, & \alpha \cdot \left(\frac{q(t) + \mu T_p + 1}{q(t)} \right) > W_v(t); \\ W_v(t), & \alpha \leq \delta \leq \beta; \\ W_v(t) - 1, & \beta \cdot \left(\frac{q(t) + \mu T_p + 1}{q(t)} \right) < W_v(t), \end{cases} \quad (8)$$

где α и β – параметры протокола TCP Freeze.

Выражение для пропускной способности протокола TCP Freeze, $V_v(t)$, можно получить, используя выражения (3) и (8) для каждого из случаев, приведенных в (8):

$$V_v(t) = \frac{W_v(t)}{T_R(t)}.$$

Таким образом, при изменении параметров протокола TCP Freeze, значение произведения

$$\alpha \cdot \left(\frac{q(t) + C \cdot T_p + 1}{q(t)} \right)$$

пропорционально изменяется, что будет приводить к изменению размера плавающего окна. Следовательно, посредством изменения значений таких статически заданных параметров можно производить изменение динамики протокола TCP Freeze, которая имеет непосредственное влияние на его пропускную способность.

Модификация метода параметрического управления для протокола TCP Freeze.

Алгоритм метода с учетом предлагаемой модификации приведен на рис. 1.

Одним из условий потери пакетов в беспроводных сетях является превышение суммарным количеством трафика пропускной способности C беспроводного соединения для конкретного мобильного узла, либо ее резкое уменьшение (что может быть обусловлено как его перемещением, так и процессами, протекающими в беспроводных сетях). Тогда условие отсутствия потерь можно записать следующим образом:

$$\frac{W_v(t)}{T_R(t)} + \frac{W_r(t)}{T_R(t)} \leq C. \quad (9)$$

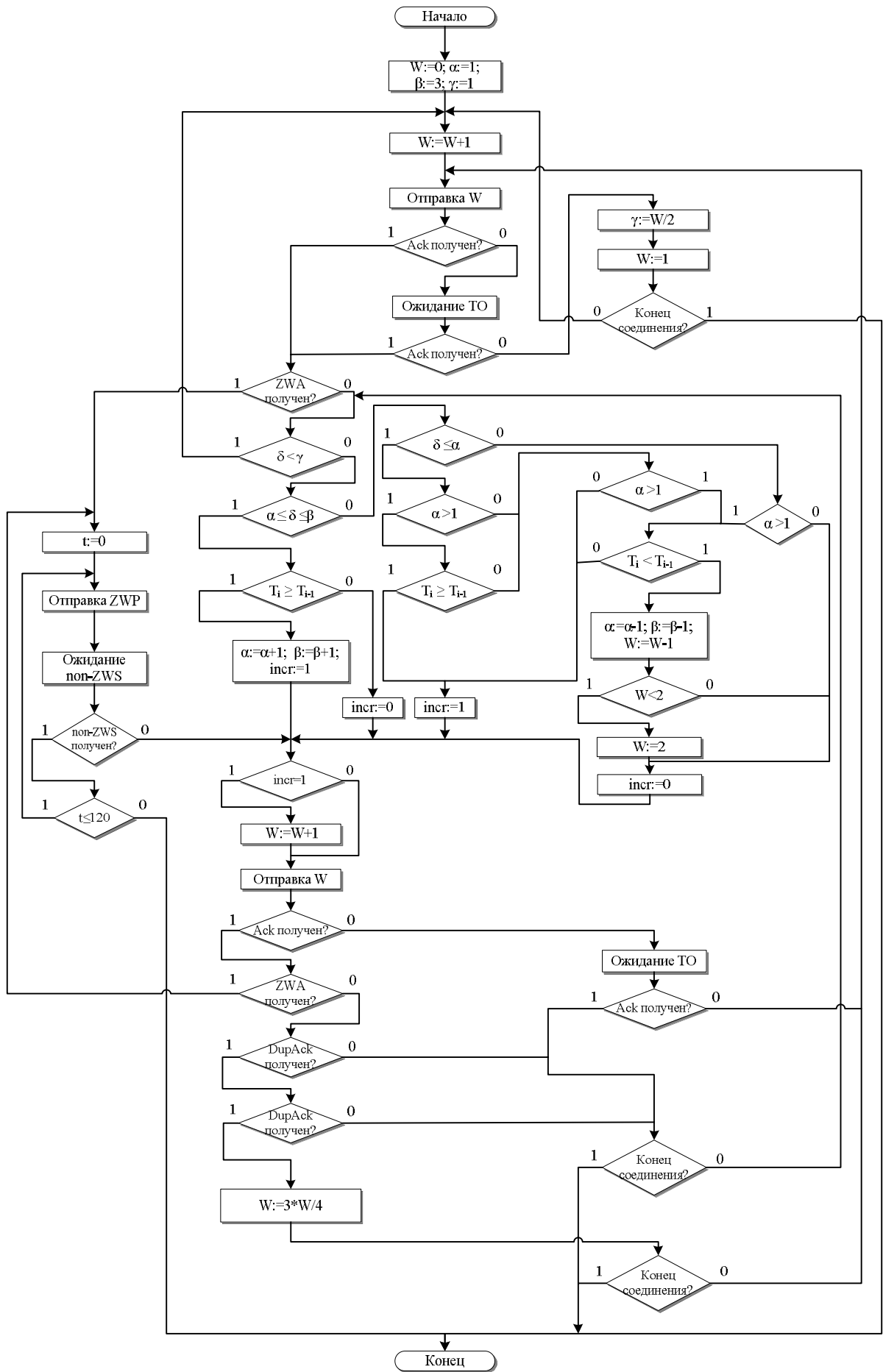


Рис. 1. Алгоритм метода параметрического управления передачей данных

В равновесной точке можно получить следующее выражение для $W_v(t)$, в соответствии с выражением (9):

$$W_v(t) = T_R(t) \cdot C - W_r(t). \quad (10)$$

Подставив выражение (5) в (10), получим:

$$W_v(t) = T_R(t) \cdot C - \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}}. \quad (11)$$

Заменяя выражение (3) на (4) и подставив его в (11), получим:

$$W_v(t) = q(t) + T_p \cdot C + 1 - \frac{K_r}{\sqrt{p(t)}}. \quad (12)$$

Таким образом, получены выражения (12) и (5) для размеров плавающих окон протоколов TCP Freeze и TCP Reno, соответственно, в беспроводной сетевой среде.

В протоколе TCP Freeze величины α и β являются константами, а задачей метода управления передачей данных на транспортном уровне, реализуемом протоколом, является такое управление размером плавающего окна, при котором количество пакетов, находящихся в буферах на маршруте соединения, будет находиться между значениями α и β .

В качестве модификации предлагается метод, в котором значений параметров α и β могут изменяться динамически в соответствии со следующим

принципом: при открытии соединения параметры α и β установлены в свои значения по умолчанию, а затем начинают динамически линейно инкрементироваться или декрементироваться на основании замеров протоколом времени передачи пакетов в соединении. Для сохранения значения действительной мгновенной скорости передачи, введена одна новая переменная.

Практические результаты

Ниже представлены результаты имитационного моделирования в среде The Network Simulator v.2 [14]. Топология моделируемой БСПД включала источники и адресаты трафика, а также один беспроводный канал, через который проходят все установленные в БСПД соединения, и который ограничивает их пропускную способность (т.е. является критическим участком).

Для анализа эффективности различных реализаций протокола TCP, в качестве метрики использовалась зависимость скорости отправки пакетов в сеть каждым из соединений от времени.

Первый сценарий представляет собой случай одновременной активности источников трафика протоколами TCP Freeze, TCP Reno, а также фонового трафика на примере протокола UDP. Результаты приведены на рис. 2.

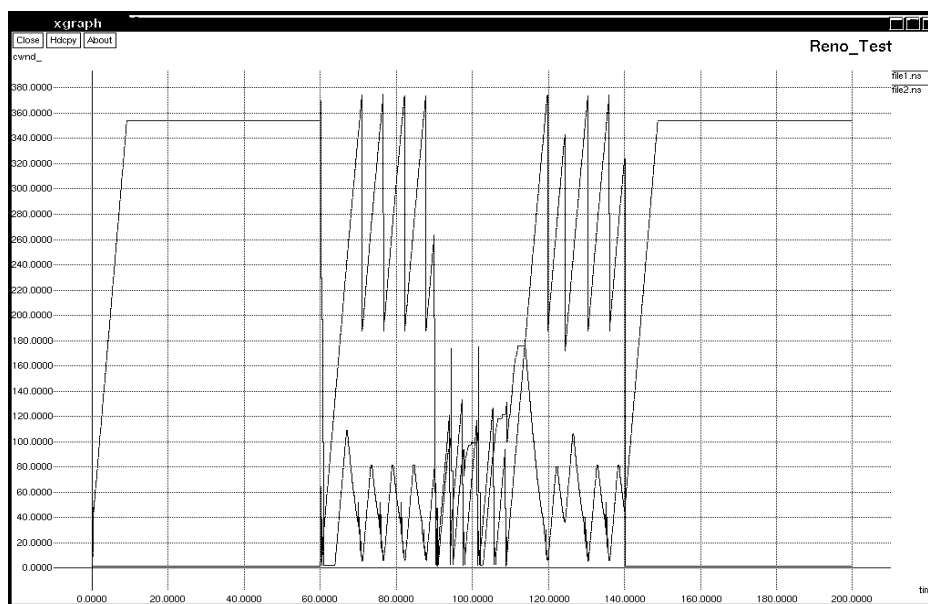


Рис. 2. Зависимость скорости соединений от времени для сценария, включающего оригинальные версии транспортных протоколов (TCP Freeze, TCP Reno, UDP)

Наблюдается значительное снижение скорости соединения протоколом TCP Freeze в присутствии соединения TCP Reno и фонового трафика протоколом UDP вследствие неравномерности распределения доступных ресурсов сети по отношению к оригинальной версии протокола TCP Freeze.

В следующем сценарии промоделирован случай, аналогичный предыдущему, кроме той раз-

ницы, что вместо оригинальной версии протокола TCP Freeze применена предложенная в данной статье модификация.

Результаты моделирования приведены на рис. 3.

Наблюдается увеличение скорости в 1,25...1.3 раза и ее меньшая дисперсия для протокола TCP Freeze на основе предложенного метода параметрического управления передачей данных.

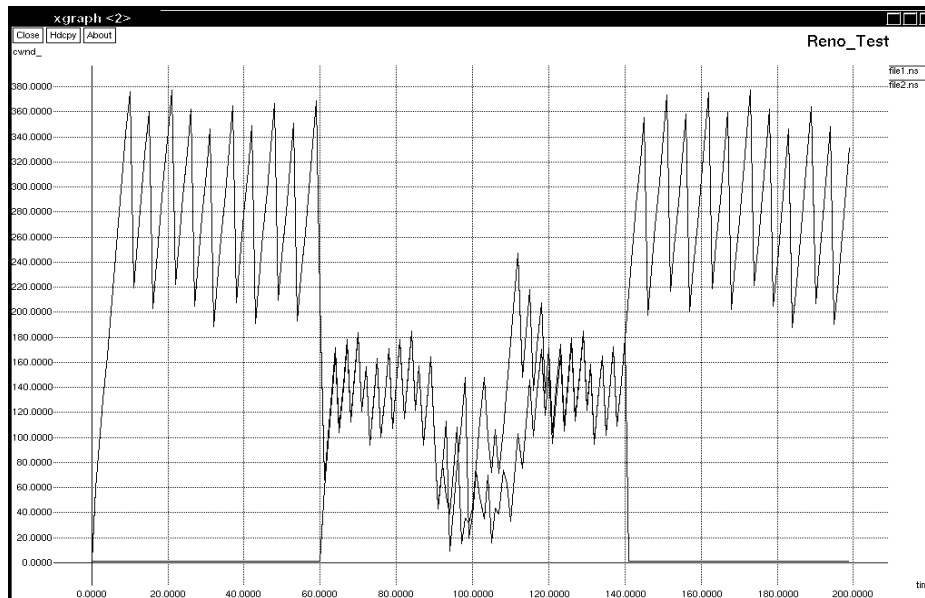


Рис. 3. Зависимость скорости соединений от времени для сценария, включающего соединение реализацией предложенного метода

Выводы

Таким образом, в статье предложен метод параметрического управления передачей данных, предназначенный для использования в протоколе транспортного уровня беспроводных сетей TCP Freeze. Использование предложенного метода позволяет уменьшить время передачи данных в беспроводной сети вследствие реализации алгоритма управления размером плавающего окна протокола, сглаживающего флуктуации последнего и приводящего к меньшему числу повторных передач пакетов данных, а также обработку события хэндовер. Представлены результаты моделирования, которые подтверждают низкую совместимость оригинальных реализаций современных транспортных протоколов, а также эффективность предложенного метода. **Направление дальнейших исследований** – решение задачи оптимальности выбора начальных, статически задаваемых, параметров протокола TCP Freeze.

Список литературы

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. [Текст] / Э. Таненбаум // СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
2. 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.
3. Кучук Г.А. Управление ресурсами инфокоммуникаций [Текст] / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Паишев. – М.: Физматлит, 2006. – 220 с.
4. Поповский В.В. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах: учебник [Текст] / В.В. Поповский, В.Ф. Олейник. – Х.: ООО "Компания СМІТ", 2011. – 362 с.
5. Manner J. Mobility Related Terminology [Текст] / J. Manner, M. Kojo. – Network Working Group, RFC 3753. 2004.
6. Мохаммад А.С. Метод перераспределения нагрузки базовой станции в технологии WIMAX [Текст] /

А.С. Мохаммад, Ю.Ю. Завизиступ, А.А. Коваленко // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2010. – Вып. 5 (86). – С. 39 – 44.

7. Завизиступ Ю.Ю. Особенности функционирования протоколов в беспроводных сетях [Текст] / Ю.Ю. Завизиступ, А.А. Коваленко, А.С. Мохаммад, М.А. Можжаев // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2010. – Вып. 5(86). – С. 39 – 42.

8. Завизиступ Ю.Ю. Анализ факторов, влияющих на пропускную способность беспроводных сетей [Текст] / Ю.Ю. Завизиступ, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системы управления, навигации та зв'язку. – К.: ЦНДІ НІУ, 2011. – Вып. 2(18). – С. 260 – 264.

9. 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 // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 3(29). – С. 140-145.

10. Goff T. Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement, mechanism for mobile environments [Текст] / J. Moronski, D. Phatak, T. Goff // Proc. Of INFOCOM'2000.

11. Завизиступ Ю.Ю. Проблемы управления перегрузками в протоколе TCP [Текст] / Ю.Ю. Завизиступ, А.А. Коваленко, С.А. Партыка, А.В. Бабич // Вестник ХНТУ. – 2006. – № 1(24). – С. 173–177.

12. Ильина И.В. Многоуровневая модель телекоммуникационного трафика системы глобальной навигации [Текст] / И.В. Ильина, А.А. Можжаев, А.А. Коваленко // Системы управления, навигации та зв'язку. – К.: ЦНДІ НІУ, 2011. – 2007. – Вып. 2. – С. 76-82.

13. Воробієв О.В. Метод перерозподілу обчислювального ресурсу критичної ділянки мережі передачі даних АСУ [Текст] / О.В. Воробієв // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2007. – Вып. 5 (63). – С. 26 – 35.

14. The Network Simulator (NS-2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

Поступила в редколлегию 20.10.2011

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

МЕТОД ПАРАМЕТРИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРЕДАЧЕЮ ДАНИХ ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПРОТОКОЛІВ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

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

У даній статті запропоновано метод параметричного управління передачею даних, що дозволяє модифікувати транспортні протоколи, зокрема TCP Freeze, які використовуються у сучасних безпроводних мережах, з метою зменшення часу передачі даних. Такий метод заснований на динамічному змінюванні, у залежності від умов у безпроводній мережі, параметрів протоколу, які у його оригінальній версії задаються статично. У результаті використання запропонованого методу зменшується час передачі даних у безпроводних мережах, зокрема, внаслідок обробки події хендоверу.

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

PARAMETRIC CONTROL METHOD FOR DATA TRANSMISSION INTENDED FOR MODIFICATION OF TRANSPORT PROTOCOLS IN WIRELESS NETWORKS

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

This paper proposes parametric control method for data transmission that allows to modify transport protocols, TCP Freeze in particular, which are used in modern wireless networks, in order to decrease data transfer time. Such method is based on dynamic change, depending on wireless network conditions, of protocol's parameters, which are statically set in original protocol. Application of proposed method allows to decrease data transfer time in wireless networks, in particular, due to processing of handover event.

Keywords: wireless network, traffic, packet, throughput, rate, handover, reallocation.