

На правах рукописи



Тимошина Мария Михайловна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ  
СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ  
СЕТЯХ НА ОСНОВЕ СТЕКА ПРОТОКОЛОВ ТСП/Р**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства  
телекоммуникаций

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Самара – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГОБУ ВПО ПГУТИ).

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент  
**Лиманский Николай Сергеевич**

**Официальные оппоненты:** **Кучерявый Андрей Евгеньевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГОБУ ВПО Санкт-Петербургский  
государственный университет  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, заведующий кафедрой сетей  
связи

**Росляков Александр Владимирович**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГОБУ ВПО ПГУТИ, заведующий  
кафедрой автоматической электросвязи

**Ведущая организация:** ФГОБУ ВПО «Самарский государственный университет», г. Самара

Защита состоится «19» сентября 2013 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 219.003.02 при Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОБУ ВПО ПГУТИ

Автореферат разослан « 19 » августа 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 219.003.02  
доктор технических наук, профессор



Мишин Д. В.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** Тенденцией современного этапа развития телекоммуникаций является объединение сетей связи в единую мультисервисную сеть для предоставления унифицированной услуги, включающей в себя все виды телекоммуникационных услуг. Внедрение и успешное функционирование мультисервисных сетей и предоставление унифицированных услуг связи требует высокой скорости передачи данных, обеспечивающей трансляцию возрастающего объема данных.

Самыми распространенными протоколами в мультисервисных сетях передачи данных (до 70% от всего передаваемого трафика) являются протоколы TCP/IP. Процесс фрагментации, присущий трафику стека протоколов TCP/IP, приводит ко многим негативным последствиям. Разработанные на данный момент методы борьбы с фрагментацией в силу различных причин зачастую не достигают своих целей, и очевидной становится необходимость создания новых.

Проблемам построения и увеличения скорости передачи данных мультисервисных сетей посвящено множество работ отечественных и зарубежных авторов (В. М. Вишневский, Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый, А. В. Росляков, Н. А. Соколов, В. И. Цыбаков, И. М. Успенский, А. Ю. Щека, Н. В. Яркина, Chen-Nee Chuah, Randy H. Katz, Wenyu Jiang, Henning Schulzrinne и др.)

Однако в опубликованных научных исследованиях не реализована задача создания математических моделей оценки скорости передачи данных в мультисервисных сетях на базе использования стека протоколов TCP/IP, учитывающих такие характерные особенности как гарантированную доставку данных, обеспечиваемую методами повторной передачи данных и прямой коррекцией ошибок, а также фрагментацию пакетов. Вследствие этого разработка таких математических моделей и основывающегося на них метода повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях является актуальной задачей, решение которой предложено в диссертационной работе.

**Целью диссертации** является разработка метода повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях, предусматривающего возможность регулирования величины сегмента протокола TCP при передаче потока данных конечных пользователей для минимизации негативного влияния фрагментации.

### **Основные задачи исследования:**

- 1) разработка алгоритма работы стека протоколов TCP/IP с учетом гарантированной доставки данных и фрагментации пакетов;
- 2) создание математической модели оценки скорости передачи данных на основе использования стека протоколов TCP/IP с учетом гарантированной доставки данных и фрагментации пакетов;

- 3) создание математической модели оценки пропускной способности мультисервисных сетей с учетом фрагментации и вероятности потерь пакетов данных;
- 4) анализ и расчет статистических характеристик трафика протоколов TCP/IP в существующей мультисервисной сети оператора связи;
- 5) моделирование и анализ поведения трафика стека протоколов TCP/IP в модели гарантированной доставки данных с учетом его самоподобных свойств при помощи имитационного моделирования на базе программы NS-3;
- 6) оценка эффективности разработанного метода повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях на основе аналитической модели, имитационного моделирования на базе программы NS-3 и экспериментальных данных на сети оператора связи.

**Методы исследования.** Проведенные в диссертационной работе исследования основываются на теории вероятностей, теории самоподобных процессов, математической статистике и имитационном моделировании.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- 1) созданы математические модели оценки скорости передачи данных и пропускной способности мультисервисных сетей на основе использования стека протоколов TCP/IP с учетом гарантированной доставки, фрагментации и вероятности потерь пакетов данных;
- 2) выявлено самоподобие трафика передачи потока данных в мультисервисной сети связи с использованием протоколов TCP/IP, позволяющее учесть влияние распределения величин пакетов данных на скорость и пропускную способность сети;
- 3) разработан алгоритм оценки скорости передачи данных в сети с коммутацией пакетов, учитывающий особенности по распределению длин пакетов и влияние фрагментации;
- 4) разработан метод повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях, предусматривающий возможность регулирования величины сегмента протокола TCP при передаче потока данных конечных пользователей для уменьшения негативного влияния фрагментации.

**На защиту выносятся:**

- 1) метод повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях, показывающий выигрыш по скорости до 14 раз (при 10 узлах) за счет уменьшения времени на фрагментацию пакетов;
- 2) математические модели оценки скорости передачи данных и пропускной способности мультисервисных сетей;
- 3) алгоритм совместной работы стека протоколов TCP/IP с учетом гарантированной доставки, прямой коррекцией ошибок и фрагментации пакетов данных;

4) самоподобие трафика передачи потока данных в мультисервисной сети связи с использованием протоколов TCP/IP, позволяющее учесть влияние распределения величин пакетов данных на скорость и пропускную способность сети;

5) результаты имитационного моделирования и экспериментальные исследования, проведенные на мультисервисной сети оператора связи, показывающие эффективность разработанного метода.

**Личный вклад.** Теоретические и практические исследования, расчеты и моделирование, выводы и рекомендации на их основе получены автором лично.

**Практическая ценность.** Применение разработанного метода на сетях операторов связи привело к повышению скорости передачи данных за счет уменьшения времени на фрагментацию пакетов и пропускной способности мультисервисных сетей за счет увеличения доли полезной составляющей в общем объеме передаваемых данных.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационных исследований внедрены у двух операторов связи в г. о. Самара: ЗАО «Самарасвязьинформ», ООО «ИНКОС» и в учебный процесс кафедры инфокоммуникационных технологий ФГОБУ ВПО ПГУТИ, о чем свидетельствуют соответствующие акты внедрения.

**Апробация работы.** Основное содержание и результаты работы докладывались и обсуждались на: 13-й международной конференции «Состояние и перспективы развития IP-коммуникаций и IP-сервисов в России» (Москва, 2012); XIII Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (Уфа, 2012); Международной научно-практической конференции «Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития» (Тамбов, 2013); XVIII, XIX и XX Российской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ (Самара, 2011, 2012 и 2013).

**Публикации.** По результатам проведенных исследований опубликовано 13 работ, в том числе 4 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ для публикации результатов диссертационных работ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа содержит 133 страницы и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, показана научная новизна и практическая значимость результатов исследований, а также перечислены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ основных аспектов работы стека протоколов TCP/IP и фрагментации пакетов, дан анализ методов борьбы с негативным влиянием фрагментации пакетов и показано, что данные

методы борьбы не эффективны в современных мультисервисных сетях передачи данных. Основным методом борьбы с фрагментацией пакетов данных на промежуточных узлах базируется на алгоритме, поиска маршрута, по которому пакеты с заданным максимальным размером блока данных (Maximum Transmission Unit — MTU) могут пройти без фрагментации (Path MTU Discovery – PMTUD). Данный метод реализован в большинстве операционных систем и опирается на использование ICMP-сообщений для определения маршрута. В последнее время многие операторы блокируют отправку ICMP-сообщений на промежуточных узлах для обеспечения информационной безопасности. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев использование алгоритма PMTUD приводит к снижению производительности оборудования.

Рассмотрим схему прохождения пакета по сети передачи данных от отправителя (S) к получателю (R) с учетом фрагментации (рис. 1).

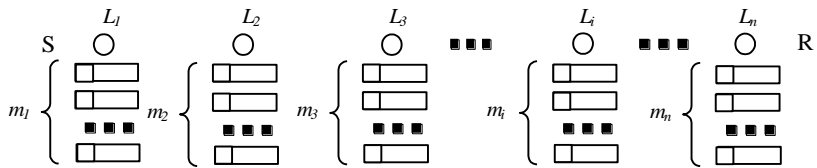


Рис. 1 Схема прохождения пакета по сети передачи данных с учетом фрагментации

При прохождении пакета через множество узлов  $i$ , с максимально допустимыми размерами обрабатываемых данных  $L_i$ , пакет с размером  $L$  может быть обработан и передан дальше при  $L < L_i$ . При  $L > L_i$  пакет будет разбиваться на фрагменты до тех пор, пока размер последнего фрагмента не будет укладываться в допустимые границы ( $m_i$  – количество фрагментов на  $i$ -ом узле).

При разбиении пакета на множество фрагментов затрачивается дополнительное время на фрагментацию. Для каждого фрагмента генерируется новый заголовок IP сообщения, содержащий информацию об IP адресе отправителя и получателя, а также служебную информацию, необходимую для сборки пакета на стороне получателя, что приводит к увеличению доли служебной информации в передаваемом потоке данных. Увеличение времени передачи и доли служебной информации в передаваемом потоке данных ведет к уменьшению скорости передачи данных в мультисервисных сетях.

Рассмотренный ряд негативных последствий, приводящих к необходимости создания методов борьбы с фрагментацией, показывает актуальность разработки метода повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях.

**Во второй главе** рассмотрен механизм совместной работы стека протоколов TCP/IP с учетом методов повторной передачи данных (называемый также способом передачи с обратной связью, ARQ –

Automatic Repeat reQuest) и прямой коррекции ошибок (помехоустойчивое кодирование, FEC – Forward Error Correction). Механизм совместной работы стека протоколов TCP/IP с учетом этих методов представлен в виде алгоритма на рисунке 2.

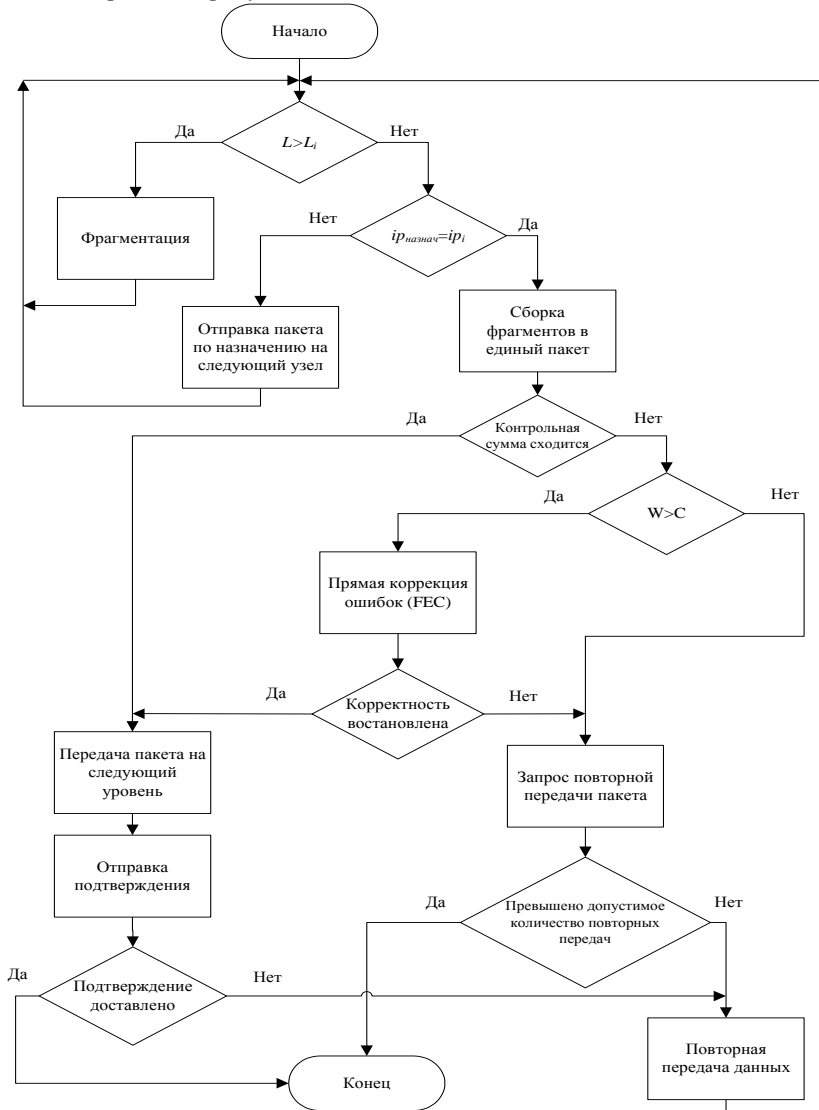


Рис. 2 Алгоритм совместной работы стека протоколов TCP/IP

На основе данного алгоритма создана математическая модель оценки скорости передачи данных при использовании протоколов ТСР/ІР с учетом гарантированной доставки данных и фрагментации пакетов.

Рассмотрен случай, когда информация помещается в одном блоке данных. Введены обозначения  $M$  – размер блока данных,  $n$  – конечное число узлов.

Скорость передачи данных определялась как отношение объема переданной информации к общему времени передачи данных от отправителя к получателю. Рассматривалась только полезная составляющая переданных данных, поскольку для конечного пользователя не имеет значения, сколько заголовков и служебных пакетов затрачено для передачи его сообщения. Полезная составляющая переданных данных определялась как максимальный размер исходного (переданного) пакета MTU за вычетом длины заголовка  $M - L_{заг}$ .

Скорость передачи полезной составляющей обозначалась как эффективная скорость передачи данных  $v_{эфф}$ , которая равна отношению полезной составляющей переданных данных  $M - L_{заг}$  к общему времени  $t_{\Sigma \text{передачи}}$  затраченному на передачу пакета:

$$v_{эфф} = \frac{M - L_{заг}}{t_{\Sigma \text{передачи}}}. \quad (1)$$

Общее время передачи данных по сети с коммутацией пакетов  $t_{\Sigma \text{передачи}}$  определялось как суммарное время, затраченное на обработку пакета на узле  $t_{\Sigma \text{обр}}$ , суммарное время передачи пакета в линии  $t_{\Sigma \text{лин}}$  и суммарное время, затраченное на фрагментацию пакета  $t_{\Sigma \text{фрагм}}$ :

$$t_{\Sigma \text{передачи}} = t_{\Sigma \text{обр}} + t_{\Sigma \text{лин}} + t_{\Sigma \text{фрагм}}. \quad (2)$$

Считалось, что время обработки пакета на каждом  $i$ -ом узле и время передачи сигнала по линии одинаково, тогда:

$$t_{\Sigma \text{обр}} = t_{обр} \cdot n \quad \text{и} \quad t_{\Sigma \text{лин}} = (n - 1) \cdot t_{лин}. \quad (3)$$

Условие фрагментации было сформулировано при помощи индикаторной функции  $I(\cdot)$ , которая определяется соотношением:

$$I(\cdot) = \begin{cases} 1, & \text{если выполнено условие сформулированное в скобках} \\ 0, & \text{если условие не выполнено} \end{cases}$$

Применив индикаторную функцию, получили:

1) фрагментация требуется, при этом  $L > L_i$ , время, затраченное на фрагментацию, выражается как  $t_{фрагм} = t_{фрагм-1} + t_{фрагм} \cdot m_n$ ;



2) фрагментация не требуется, при этом  $L \leq L_i$ , время, затраченное на фрагментацию, можно представить в виде  $t_{фрагм} = 0$ .

Таким образом, используя выражения (2) и (3), а также индикаторную функцию для выражения времени, затраченного на фрагментацию, получено:

$$t_{\sum \text{передачи}} = t_{обр} \cdot n + (n-1) \cdot t_{лин} + \sum_{i=1}^n I(L > L_i)(t_{фрагм_{n-1}} + t_{фрагм} \cdot m_i). \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в (1) была получена математическая модель оценки скорости передачи данных:

$$v_{эфф} = \frac{M - L_{заг}}{t_{обр} \cdot n + (n-1) \cdot t_{лин} + \sum_{i=1}^n I(L > L_i)(t_{фрагм_{n-1}} + t_{фрагм} \cdot m_i)}. \quad (5)$$

С учетом гарантированной доставки данных, обеспечиваемой протоколом TCP, посредством использования метода ARQ (способ передачи с обратной связью), требуется время не только на передачу данных, но и, при необходимости, на ожидание перед повторной передачей  $t_{ожид}$ , под которым подразумевается время на ожидание подтверждения  $t_{ack}$  получения/потери данных, или время истечения тайм-аута  $t_{тайм-аута}$ , ведущего к повторной передаче (что наступит быстрее). Согласно RFC 791, протокол TCP имеет конечное число попыток  $r$  повторно передать потерянные или искаженные данные. Обозначая за  $k$  количество повторных попыток передать данные, после которых данные получены,  $k \leq r$ . С учетом гарантированной доставки данных эффективная скорость выражается в виде:

$$v_{эфф} = \frac{M - L_{заг}}{(t_{обр} \cdot n + (n-1) \cdot t_{лин} + \sum_{i=1}^n I(L > L_i)(t_{фрагм_{n-1}} + t_{фрагм} \cdot m_i) + t_{ожид}) \cdot k}. \quad (6)$$

Если пользователь зачастую не может определить какая у него скорость, то у оператора пропускная способность в канале связи всегда регламентирована используемой технологией (стандартом): 100 Base-T (100 Мбит/с), 1000 Base-T (1 Гбит/с), 10 GBase (10 Гбит/с) и т. д. При определении пропускной способности учитывается не только полезная часть передаваемых данных, но и служебная информация, необходимая для их передачи. Таким образом, добиться увеличения пропускной способности, не изменяя технологию доступа, можно за счет уменьшения передаваемой служебной информации.

Занимаемую пропускную способность в мультисервисных сетях определим как отношение общего количества переданной информации

$D_{\Sigma}$ , включая служебную часть трафика  $D_{\Sigma} = D_{\text{полез}} + D_{\text{служеб}}$ , к единице времени.

$$C = \frac{D_{\text{полез}} + D_{\text{служеб}}}{t}. \quad (7)$$

Выразим общее количество переданной информации  $D_{\Sigma}$  с помощью индикаторной функции:

$$D_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n I(L > L_i)(D_{i-1} + L_{\text{заг}}(m_i - 1)) + I((\forall i, i \in \overline{1, n})L \leq L_i)L. \quad (8)$$

Используя ранее полученные равенства (7) и (8), занимаемую пропускную способность в мультисервисных сетях с коммутацией пакетов можно определить выражением:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n I(L > L_i)(D_{i-1} + L_{\text{заг}}(m_i - 1)) + I((\forall i, i \in \overline{1, n})L \leq L_i)L}{t}. \quad (9)$$

С учетом фрагментации пакетов, вероятности потерь и повторной ретрансляции данных пропускную способность сети можно представить в следующем виде:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n I(L > L_i) \left( \left( \sum_{i=1}^n H_{s_i} \times m + E_{s, \text{ацк}} \right)_{i-1} + L_{\text{заг}}(m_i - 1) \right) + I((\forall i, i \in \overline{1, n})L \leq L_i)L}{t}, \quad (10)$$

где  $H_{s_i}$  – математическое ожидание числа успешно переданных бит на  $i$ -ом узле после числа попыток, не превышающих  $r$ ;  $E_{s, \text{ацк}}$  – математическое ожидание числа подтвержденных бит.

Из полученных выражений (6), (9), (10) понятно, что для повышения скорости передачи данных и пропускной способности мультисервисных сетей необходимо уменьшить количество фрагментированных пакетов, т. е. уменьшить негативное влияние фрагментации.

В главе разработан метод повышения скорости передачи данных и пропускной способности мультисервисных сетей, предусматривающий возможность регулирования величины сегмента протокола TCP при передаче потока данных конечных пользователей для минимизации негативного влияния фрагментации.

Смысл предлагаемого метода состоит в использовании поля «дополнительные опции» в структуре сообщения протокола TCP, с помощью которого получатель извещает отправителя о максимальном размере полученного от него фрагмента, устанавливая тем самым максимальный MTU обмена.

Для описания данного метода определим, что фрагментацией и сборкой пакетов занимается протокол IP. Получаемый пакет проверяется

на корректность. Заголовок IP сообщения отбрасывается от пакета, а в поле «дополнительные опции» заголовка TCP добавляется информация о размере максимального фрагмента, принятого в одном окне передачи протоколом IP. Собрав фрагменты в единый пакет, протокол IP передает его далее протоколу TCP с информацией о максимальном размере принятого фрагмента. Протокол TCP формирует подтверждение (ACK) о принятых данных и посылает отправителю его вместе с информацией о размере максимального фрагмента, тем самым устанавливая максимальный размер блока передаваемых данных.

При приеме данной информации отправитель начинает генерировать трафик с учетом принятого ограничения размера блока данных. Таким образом, можно избежать фрагментации пакетов вне зависимости от среды передачи данных и политик безопасности, настроенных на промежуточных узлах. Также использование данного метода не дает ограничений на количество промежуточных узлов и повышает скорость передачи данных за счет уменьшения времени на обработку пакета на промежуточных узлах, исключая время на фрагментацию пакета, а также увеличивает пропускную способность за счет повышения доли полезной составляющей трафика.

Для первоначального анализа эффективности разработанного метода была проведена аналитическая оценка. Аналитическая оценка базировалась на основе разработанных математических моделях и выражена посредством написанной на языке java программы. Данная программа выбирает в качестве значений MTU промежуточных узлов псевдослучайные целочисленные положительные значения из диапазона от минимального до максимально допустимого MTU согласно стандарту RFC 894. Программа производит загрузку данных в двух режимах (при обычных условиях и при использовании разработанного метода) и определяет максимальное (ряд 1), среднее (ряд 2) и минимальное (ряд 3) значения скорости передачи данных. Данные представлены на рисунке 4.

**В третьей главе** проведено исследование структуры трафика протоколов TCP/IP для учета распределения длин пакетов и других статистических характеристик при оценке эффективности разработанного метода повышения скорости передачи данных и пропускной способности мультисервисных сетей.

Исходные данные для анализа были получены в процессе мониторинга магистрального канала на сети крупного оператора мультисервисных услуг масштаба города. В исследуемой сети протокол TCP использует для маршрутизации и фрагментации пакетов данных заголовки сообщений протокола IP. Из множества пакетов разных протоколов, собранных программой Wireshark, для дальнейшего анализа были выделены пакеты протокола TCP. Доля сообщений протокола TCP составила 69,8% от всего трафика мультисервисной сети.

Из полученной в ходе мониторинга реализации трафика (TCP) были сформированы агрегированные (TCP-5 и TCP-10) и логарифмированные (TCP-5- LOG и TCP-10- LOG) ряды.

Максимальный и минимальный размер пакетов составляет 1600 байт и 64 байта соответственно. Распределение размеров пакетов протокола TCP в мультисервисной сети представлено на рисунке 3.

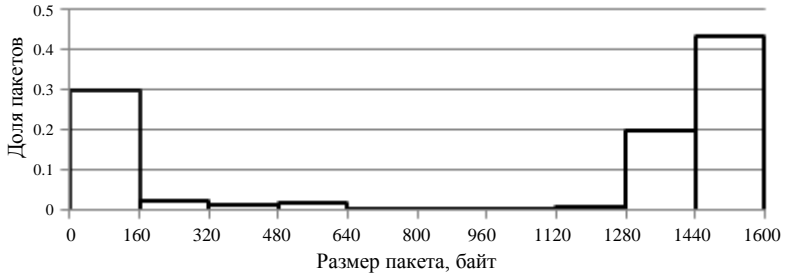


Рис. 3. Распределение размеров пакетов протокола TCP

В таблице 1 приведены основные характеристики исследуемых рядов.

Табл. 1. Основные характеристики исследуемых рядов

Название	Среднее, $M[X]$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$	Макс. корреляц. размерность $D_{max}$	Кoeff. Хёрста, $H$ / точность измерения, %
TCP	732,91	633.084	16.60205999	0,8197/82,97
TCP -5	2460808	1684672	8.400168127	0,9053/81,91
TCP -10	2460653	1546788	7.798108136	0,9056/84,79
TCP -5-LOG	6886,47	4415	8.400168127	0,9463/83,11
TCP-10-LOG	6886,04	4052	7.798108136	0,9489/85,86

Также были построены автокорреляционные функции, плотности распределения и энергетические спектры исследуемых реализаций.

В результате проведенного статистического анализа было показано, что трафик протокола TCP обладает большинством свойств самоподобных процессов. Получена оценка параметра Хёрста, характеризующего степень самоподобия трафика, которая находится в пределах  $0.8197 < H < 0.9489$ , что свидетельствует о достаточно сильной степени самоподобия трафика TCP. Заключение о том, что исследуемый трафик протокола TCP обладает свойством самоподобия, позволяет использовать разработанный метод повышения скорости передачи данных и пропускной способности мультисервисных сетей во всех сетях с коммутацией пакетов данных при использовании стека протоколов TCP/IP.

**В четвертой главе** проведена оценка эффективности разработанного метода повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях с помощью имитационного моделирования в программе NS-3 и сравнением с экспериментальными данными,

полученными в ходе внедрения разработанного метода на сети оператора мультисервисных услуг масштаба города.

В отличие от аналитической оценки, рассмотренной во второй главе, при имитационном моделировании в программе NS-3 учитывалась потеря пакетов данных и их повторная ретрансляция. В программе NS-3 был проведен анализ эффективности разработанного метода при использовании в качестве передаваемого трафика пакетов одинаковой длины (1500 байт), на рисунке 4 представлен как ряд 4 и в случае, когда размер пакетов данных определялся размером длин пакетов реального трафика, полученного в главе 3 при анализе мультисервисной сети (ряд 5). Из графика, представленного на рисунке 4 видно, что при распределении длин пакетов реального трафика скорость и выигрыш в ней, не значительно, но все же меньше чем при равномерном распределении длин пакетов. Это обусловлено тем, что в условиях реального трафика присутствовали пакеты небольшого размера, которые и без использования метода передавались в модельной сети без фрагментации.

В процессе внедрения разработанного метода на сети оператора мультисервисных услуг масштаба города была проанализирована эффективность разработанного метода повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях при количестве промежуточных узлов от 1 до 3. В ходе оценки скорости передачи данных даже при большой загрузке маршрутизаторов (в ЧНН) не удалось добиться потерь пакетов и повторной ретрансляции данных. Полученные экспериментальные данные находятся в диапазоне аналитической оценки эффективности разработанного метода, которая также не учитывала вероятность потерь и повторной ретрансляции пакетов данных, что подтверждает точность разработанных математических моделей.

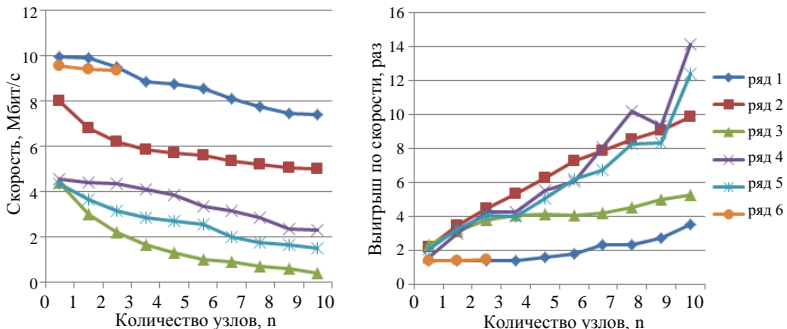


Рис. 4. Скорость при использовании разработанного метода (слева), выигрыш по скорости (справа)

Кроме того, в данной главе была проведена оценка скорости передачи данных согласно ГОСТ Р 53632-2009 «Показатели качества услуг доступа в интернет», далее ГОСТ. Показано, что метод,

предлагаемый ГОСТ, дает существенный разброс (до 36 %) в оценке скорости в силу того, что в нем не учитывается влияние фрагментации пакетов и кеширование данных, реализованное в большинстве современных менеджеров загрузки обозревателей. Данные факты не позволяют получить с помощью метода, описанного в ГОСТ, точных оценок скорости передачи данных.

Для более точной оценки скорости передачи данных, при которой не происходит использование кэша, искажающее результаты, согласно требованиям ГОСТ и алгоритма, учитывающего влияние фрагментации, была разработана программа NSpeed на платформе Java Standard Edition, определяющая скорость посредством тестовых вызовов (загрузки) несжимаемых данных с любого удаленного сервера. Разработанная программа NSpeed способна производить оценку скорости согласно ГОСТа и на основе предлагаемого метода.

Кроме того, были рассмотрены основные способы повышения производительности компьютеров пользователей, многие из которых влияют на скорость передачи данных. Произведенный эксперимент показывает возможность увеличения скорости (до 30%) за счет повышения быстродействия оборудования пользователя.

**В заключение сформулированы основные результаты работы.** Основным результатом проведенных в диссертационной работе теоретических и экспериментальных исследований является разработанный метод повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях с учетом самоподобия трафика на основе созданных математических моделей, эффективность которого подтверждена с помощью нескольких методов оценки. Метод основан на взаимодействии протоколов TCP/IP и использовании поля «дополнительные опции» заголовка сообщения TCP. Показано, что разработанный метод повышает скорость передачи данных (до 14 раз при 10 узлах) за счет уменьшения времени на фрагментацию пакетов и пропускную способность мультисервисных сетей (до 15% при 10 узлах) за счет увеличения доли полезной составляющей в общем объеме передаваемых данных. Кроме того в работе:

- 1) разработан алгоритм работы протоколов TCP/IP, учитывающий такие характерные особенности как гарантированную доставку данных, обеспечиваемую методами повторной передачи данных и прямой коррекции ошибок, а также фрагментацию пакетов;
- 2) создана математическая модель оценки скорости передачи данных на основе использования стека протоколов TCP/IP с учетом гарантированной доставки данных и фрагментации пакетов;
- 3) создана математическая модель оценки пропускной способности мультисервисных сетей с учетом фрагментации и вероятности потерь пакетов данных;

- 4) проанализирован трафик протоколов TCP/IP в существующей мультисервисной сети оператора связи и выявлены его характерные признаки, которые влияют на скорость передачи данных;
- 5) произведено моделирование и анализ поведения трафика протоколов TCP/IP в модели гарантированной доставки данных с учетом его самоподобных свойств при помощи имитационного моделирования на базе программы NS-3;
- 6) проведена оценка эффективности разработанного метода повышения скорости передачи данных в мультисервисных сетях на основе аналитической модели, имитационного моделирования на базе программы NS-3 и экспериментальных данных на сети оператора связи, показывающая выигрыш по скорости до 14 раз при 10 промежуточных узлах с разным распределением MTU.

### **ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Тимошина, М. М. О проблемах межоператорского взаимодействия / М. М. Тимошина, Н. С. Лиманский // Вестник связи. – Москва, 2012. – №11. – С. 29-30.
2. Тимошина, М. М. Разработка метода повышения скорости передачи данных за счет оптимизации размеров пакетов / М. М. Тимошина // Глобальный научный потенциал. – Тамбов, 2013. – №4. – С. 40-42.
3. Тимошина, М. М. Исследование и оптимизация настройки протокола TCP/IP в сетях передачи данных / М. М. Тимошина // Инфокоммуникационные технологии. – Самара, 2013. – № 2. – С. 39-42.
4. Тимошина, М. М. Increasing the Speed of Inter-Operator Interaction in Networks / М. М. Тимошина // Наука и бизнес: пути развития. – Тамбов, 2013. – №4. – С. 27-30.
5. Тимошина, М. М. Развитие IP-коммуникаций в России. Мнение абонентов / М. М. Тимошина // 13-я международная конференция «Состояние и перспективы развития IP-коммуникаций и IP-сервисов в России». Материалы конференции. – Москва, 2012. – 7 с.
6. Тимошина, М. М. Исследование и оптимизация настройки протокола TCP/IP в сетях передачи данных / М. М. Тимошина // Международная заочная научно-практическая конференция «Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития». – Тамбов, 2013. – Часть 2 – С. 138-141.
7. Тимошина, М. М. Исследование влияния параметров настройки стека TCP/IP на скорость передачи данных / М. М. Тимошина // Международная заочная научно-практическая конференция «Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития». – Тамбов, 2013. – Часть 3 – С. 138-142.
8. Тимошина, М. М. Исследование особенностей трафика мультисервисной сети на основе статистических данных /

- М. М. Тимошина, А. С. Чижов // Международная заочная научно-практическая конференция «Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития». – Тамбов, 2013. – Часть 3. – С. 142-146.
9. Тимошина, М. М. Исследование влияния параметров настройки стека TCP/IP на скорость передачи данных / М. М. Тимошина // XX Российская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. Материалы НТК ПГУТИ. – Самара, 2013. – С. 71.
10. Тимошина, М. М. Анализ реализаций сетевого трафика настоящего времени и прошлых лет / М. М. Тимошина, А. С. Чижов // XX Российская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. Материалы НТК ПГУТИ. – Самара, 2013. – С. 72.
11. Тимошина, М. М. Статистический анализ реализаций мультисервисного трафика / М. М. Тимошина, А. С. Чижов // XIII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций». Материалы конференции ПТиТТ. – Уфа, 2012. – С. 69-70.
12. Тимошина, М.М. Анализ сетевого трафика на основе статистических данных / М. М. Тимошина // XIX Российская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. Материалы НТК ПГУТИ.–Самара, 2012.–С. 72.
13. Тимошина, М. М. Определение пропускной способности пакетной сети на основе статистических данных / М. М. Тимошина // XVIII Российская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. Материалы НТК ПГУТИ. – Самара, 2011. – С. 89-90.

*Отпечатано фотоспособом в соответствии с материалами, представленными заказчиком*

Подписано в печать 11.07.13 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. № 1. Гарнитура Таймс.

Заказ № 1519. Печать оперативная. Усл. печ. л. 0,91 Тираж 100 экз.

Отпечатано в издательстве учебной и научной литературы Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики

443090, г. Самара, Московское шоссе, 77.

т. (846) 228-00-44