

Филимонова Нина Анатольевна

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И
МОДЕЛИРОВАНИЕ СУММ ПОТОКОВ ДАННЫХ В
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ**

Специальность 05.12.13 —
«Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Новосибирск — 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образова-тельном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)

Научный руководитель: *Мейкшан Владимир Иванович*

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита состоится « » 201 г. в на заседании диссертационного совета Д 219.005.04 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государ-ственный университет телекоммуникаций и информатики», по адресу: 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, д. 86, ауд. 625.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СибГУТИ и на сайте: http://www.sibsutis.ru/science/postgraduate/dis_sovets/.

Автореферат разослан « » 20 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 219.005.04 С.С. Абрамов д.т.н., доцент

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

Расчет (прогнозирование, оценка) трафика в телекоммуникационных сетях является классической задачей, которой посвящена обширная литература, начиная с классических работ по теории телетрафика. Основы исследования случайных потоков в сетях передачи данных заложены в классических работах А. К. Эрланга и К. Пальма. Обобщение и развитие методов теории телетрафика были выполнены Хинчиным А.Я. и получили дальнейшее развитие в рамках теории телетрафика. Существенный вклад в теорию телетрафика внесли работы Лившица Б. С., Пшеничникова А. П., Харкевича А. Д., Клейнрока Л., Кокса Д., Льюиса П. В частности, в классической теории телетрафика рассматривался вопрос суммирования (объединения) случайных потоков применительно к моделям случайных потоков.

Впоследствии вопрос суммирования случайных потоков был рассмотрен с общих математических позиций в работах Гнеденко Б.В., Колмогорова А.Н., Боровкова А. А., Хинчина А.Я., Ососкова Г. А., Григелиониса Б.И., Седякина Н.М. При этом тенденцией является переход от потоков специального вида к потокам более общего вида, что позволяет осуществлять более детальное моделирование потоков, создаваемых различными источниками данных. Особый интерес проявляется к потокам данных, распределения сумм которых сходятся к неким предельным распределениям.

Изменение технологий передачи данных сформировало запросы на изменение методов расчета (прогнозирования, оценки) трафика. Так, если классическая теория телетрафика в значительной

степени использовала методы теории массового обслуживания, то впоследствии возросла роль теории случайных процессов и теории графов (в самых широких ее применениях). Также многочисленные эмпирические исследования (Garvels M.J., Laghoux A., Leland W., Tucker H.G.) показали, что свойства компьютерного трафика кардинально отличаются от свойств трафика в традиционных «голосовых» системах, в том числе телефонных сетях, в связи с чем необходимо переходить к рассмотрению потоков данных общего вида, что позволяет осуществлять более адекватное моделирование процессов в компьютерных сетях передачи данных.

Вопросы, связанные с расчетом современных систем передачи данных интенсивно обсуждаются в современной научной литературе. Выходит большое число публикаций (как научных статей, так и монографий) посвященных этой теме. Тема привлекает внимание отечественных: Мейкшан В.И., Шувалов В.П., Мархасин А.Б., Родионов А.С., Белов С.Д., Ломакин С.В., Огородников В.А., Пригарин С.М., Чубаров Л.Б., Симаков Д.В., Кучин А.А. так и зарубежных ученых, упомянем работы Mellia M., Biersack E, Zincir-Heyywood N., посвященные измерению и анализу сетевого трафика.

Возросла роль моделирования, что было связано с тем, что развитие математических методов анализа передачи данных не всегда успевало за развитием технической базы связи и потребностями практики. С другой стороны, появление, а затем и широкая доступность ЭВМ, сделала методы моделирования практически доступными для широкого круга специалистов в области связи. Одним из плодотворных подходов к оценке этих важнейших конструктивных показателей является вероятностное моделирование, которому посвящены монографии таких авторов,

как Вишневский В.М., L. Kleinrock, Гнеденко Б.А., Цыбаков Б.С., Майоров С.А. и других.

Взросшая роль моделирования предполагает овладение широким кругом специалистов в области телекоммуникаций методами и знаниями в областях различного типа моделирования, которые являются самостоятельными областями знаний, или обеспечение специалистов в области телекоммуникаций достоверными моделями и/или результатами моделирования, а также соответствующим инструментарием моделирования.

Из широкого круга проблем расчета (прогнозирования, оценки) трафика выделяется задача расчета трафика в сетях ЭВМ. Быстрый (можно сказать, взрывной) рост числа ЭВМ и их объединение в различного рода сети, тенденция к превращению трафика в мультимедийный, в широком смысле определения «мультимедийности», делают задачу расчета трафика в сетях ЭВМ актуальной.

Различие масштабов (размеров) сетей оказывают естественное влияние на проблематику задачи расчета трафика в этих сетях. Имея в виду рассмотрение потоков данных, порождаемых службами Интернет, мы коснемся только задач расчета трафика в локальных сетях ЭВМ.

Исторически сложилось, что наибольшее внимание уделялось задаче расчета (прогнозирования, оценки) суммарного трафика в сетях глобального или регионального уровней, или больших корпоративных сетях, когда трафик является результатом активности многих тысяч пользователей, а масштаб времени измеряется сутками, неделями и месяцами. Спецификой суммарного трафика в таких сетях является то, что вопрос о вкладе в него той или службы Интернет не может быть поставлен в связи с «перемешиванием» (эргодичностью) вкладов от единичных служб Интернет при несопоставимости объемов суммарного трафика и

трафиков от единичных служб (единичных пользователей). Это приводит как к специальным моделям трафика, так и к специальным задачам и методам изучения трафика на глобальном уровне. Эти задачи и методы являются основными в данное время.

В обычно используемых локальных сетях ЭВМ число пользователей не превосходит 1024. Современные быстродействующие ЭВМ позволяют производить обработку данных такого размера за малое время и с высокой достоверностью обнаруживать наличие различных свойств, в частности, свойства сходимости сумм случайных потоков к предельным потокам (разумеется, если таковые предельные потоки существуют). В связи с чем ЭВМ видится как эффективный инструмент экспериментального исследования и расчетов характеристик процессов передачи данных в локальных сетях.

В диссертации основное внимание уделяется рассмотрению вопроса о потоках данных в локальных сетях ЭВМ. Вопрос о передаче данных в локальных сетях первоначально возник как актуальный во время первых опытов объединения ЭВМ в сети и был связан с несовершенством сетевого оборудования (точнее, практическим отсутствием стандартного сетевого оборудования) и методов построения сетей. Затем этот вопрос в течении некоторого времени практически не возникал, поскольку разработанные технические решения позволяли производить обмен достаточно ограниченными объемами данных на уровне локальных сетей без возникновения технических проблем. Вопрос об ограниченности ресурсов локальных сетей стал вновь возникать в последнее время в связи с ростом объема данных, передаваемых в локальных сетях, например, при использовании технологии Wi-Fi и т.п. Изучение текущей литературы показало, что вопрос практически не изучен.

В заключение отметим, что поток данных в сети ЭВМ является результатом работы, как служб Интернета, так и работы пользователей. Если изучение потоков данных, возникающих при работе служб Интернета относится прямо к специальности, по которой представляется диссертация, то изучение режима работы пользователей - сотрудников предприятия (учреждения) или частных лиц, относится к компетенции таких дисциплин как организация и нормирование труда и социология. То есть явно виден междисциплинарный характер. Это требует, в перспективе, изучения вопроса совместно с соответствующими специалистами.

Цель работы и задачи исследования. Целью данной диссертационной работы является экспериментальное исследование формирования потоков данных в телекоммуникационных сетях у источника их возникновения, статистический анализ и определение характеристик этих потоков, и разработка на этой основе методологии экспериментально-численного моделирования потоков данных в локальных вычислительных сетях.

В соответствии с целью определены нижеследующие задачи исследования:

1. Провести экспериментальные исследования потоков, создаваемых при работе служб Интернет на уровне локальной сети (один пользователь ЭВМ, группа пользователей ЭВМ).
2. Провести экспериментальные исследования для определения закономерности наложения (суперпозиции) потоков данных в локальных сетях ЭВМ, в частности, провести проверку правила аддитивности для потоков данных.
3. Разработать программные средства для численного моделирования потоков с произвольной заданной функцией распределения.

4. Разработать методологию экспериментально-численного моделирования для расчета трафика в локальных сетях ЭВМ при использовании разнообразных Интернет-служб.

5. Провести тестовые расчеты на основе разработанной методологии применительно к конкретным характеристикам (конкретная Интернет-служба, заданное число пользователей, заданное среднее время работы со службой, заданные средние интервалы между обращениями к службам и т.п.) и проверить достоверность полученных результатов.

Объект исследования: информационные потоки в телекоммуникационных сетях передачи данных. Основное внимание уделено потокам в локальных сетях передачи данных.

Предмет исследования: потоки данных, генерируемые службами Интернета. Наложение (суммирование) потоков данных в локальных сетях. Статистическое распределение характеристик потоков в локальных сетях в зависимости от числа пользователей, режимов работы пользователей, типов используемых интернет-служб.

Научная новизна. Все результаты работы являются новыми.

1. Предложен новый алгоритм для численного моделирования потоков с произвольной заданной функцией распределения с возможностью задания статистических характеристик потоков в различных формах – аналитическом, табличном и т.д..

2. Экспериментально изучены потоки данных, генерируемые службами Интернет. На основе статистической обработки результатов экспериментов показано, что потоки от специфических служб Интернет имеют типичный вид. Созданы модели потоков данных,

генерируемых службами Интернет, определены значения их параметров.

3. Произведена экспериментальная проверка применимости правила суммирования при суперпозиции (наложения) потоков данных применительно к локальной сети ЭВМ.

4. Разработана методология экспериментально-численного моделирования для расчета трафика в локальных сетях ЭВМ с конкретными характеристиками (использование конкретных Интернет-служб, заданное число пользователей, заданные режимы работы пользователей и т.д.).

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Введено понятие «элементарного потока» данных, соответствующего специфической Интернет-службе. Корректность такого определения обоснована сбором экспериментальных данных и их статистической обработкой, включая статистическую проверку гипотез, показавшие, что конкретные Интернет-службы действительно имеют «свое лицо» (в статистическом смысле), достаточно легко идентифицируемое.

2. Путем статистической обработки собранных автором данных определен вид и численные значения статистических характеристик потоков данных - «элементарного потока» для типовых служб Интернета: E-mail, WWW, Skype.

3. На основе полученных экспериментальных данных и предложенного автором способа моделирования случайных величин с произвольным законом распределения создан

алгоритм моделирования элементарных потоков Интернет – служб в виде программ для ЭВМ на языке Си.

4. Экспериментально подтверждено, что наложение (суперпозиция) потоков данных в типичных локальных сетях ЭВМ подчиняется правилу аддитивности.

5. На основании правила аддитивности разработана методология расчета трафика в локальных сетях ЭВМ при различном числе пользователей, режиме работы пользователей, составе используемых интернет-служб и интенсивности их использования.

6. Разработан алгоритм численного моделирования потоков с заданными статистическими характеристиками.

7. Разработана программа моделирования суммирования потоков данных с заданными статистическими характеристиками, позволяющая задавать статистические характеристики потоков в различных формах – аналитическом, табличном и т.д.

8. Разработана методология расчета трафика в локальных сетях ЭВМ на основе экспериментально-численного моделирования.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты исследования могут быть использованы для расчета потоков данных в локальных сетях ЭВМ исходя из характеристик конкретных используемых Интернет служб, топологии сети, и активности пользователей, как персональной, так и групповой, и расчета на этой основе потребных ресурсов локальной сети.

Разработанная в диссертации методология расчета трафика на основе экспериментально-численного моделирования является достаточно универсальной и может быть использована для расчета

потоков данных создаваемых электронными устройствами, отличными от ПЭВМ.

Внедрение работы. Результаты диссертационной работы внедрены и использованы в рамках выполняемых ОКР в ОАО «Корпорация – Новосибирский завод «Электросигнал». Акт внедрения №875 от 12.03.18.

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ).

Методология и методы исследования. Для достижения поставленной цели и решения сформулированных в диссертационной работе задач использовались методы теории вероятностей и математической статистики, методы измерительных технологий, методы системного анализа.

Положения и результаты, выносимые на защиту

1. На основе результатов экспериментальных исследований установлено, что службы Интернет порождают потоки данных характерные для каждой службы. Такие потоки, хотя и являются случайными, могут быть описаны и промоделированы в рамках статистических подходов. Числовые характеристики указанных потоков могут быть получены путем статистической обработки надлежащим образом проведенных экспериментов по измерению потоков данных, создаваемых единичными службами Интернет.

2. На основе результатов экспериментальных исследований установлено, что при наложении (суперпозиции) потоков данных в типичных локальных сетях ЭВМ применимо

правило аддитивности с точностью, приемлемой для инженерных расчетов (среднее отклонение от правила аддитивности не превышало 5% для основной части трафика).

3. Алгоритм и программные средства для численного моделирования потоков с произвольной заданной функцией распределения.

4. Методология экспериментально-численного моделирования для расчета трафика в локальных сетях ЭВМ при использовании разнообразных Интернет-служб.

5. Тестовые расчеты на основе разработанной методологии применительно к конкретным характеристикам: конкретная Интернет-служба, заданное число пользователей, заданное среднее время работы со службой, заданное средние интервалы между обращениями к службам. Проверена достоверность полученных результатов (использовался критерий согласия А.Н. Колмогорова).

Личный вклад. Все выносимые на защиту результаты принадлежат соискателю лично.

Степень достоверности и апробация результатов

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях, в их числе:

- XI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «ИТММ-2012 информационные технологии и математическое моделирование» (Анжеро-Судженск, 23-24 ноября 2012г).
- XIV Российская конференция с участием иностранных ученых «Распределенные информационные и вычислительные

ресурсы» (DICR'2012) (Новосибирск, Академгородок. 26-30 ноября 2012).

- Российская научно-техническая конференция «Современные проблемы телекоммуникации» (Новосибирск, СибГУТИ, 24 апреля 2015г.).

- XIV Международная конференция имени А.Ф. Терпугова «ИТММ-2015 "Информационные технологии и математическое моделирование» (Томск, 18-22 ноября 2015г).

- Российская научно-техническая конференция «Современные проблемы телекоммуникации», (Новосибирск, СибГУТИ, 21- 22 апреля 2016 г.)

Публикации

По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 3 статьи в издании, рекомендованных ВАК для представления основных результатов диссертации на соискание ученой степени доктора или кандидата наук.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемых литературных источников, изложенных на 136 страницах, а также 8 приложений на 70 страницах. Работа содержит 38 таблиц и 76 рисунков. Список литературы содержит 98 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность темы исследования и степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи

работы, отражена ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе решается задача построения и исследования класса потоков случайных событий, ориентированных на имитационное моделирование передачи данных в беспроводных сетях (в частности потоков нестационарных случайных событий с последствием). Основной задачей является построение потоков с заданными статистическими характеристиками, позволяющими использовать исходные данные (эмпирические функции плотности распределения и т.п. характеристики) потоков в различных формах – аналитическом, табличном и т.д. Найдено решение этой задачи, разработан соответствующий алгоритм и написана программа для ЭВМ на языке Си. Проведены контрольные расчеты, подтвердившие работоспособность алгоритма и программы.

Во второй главе вводятся понятия потока от единичной специфической службы Интернет – элементарного потока от службы Интернета и потока от единичного специфического пользователя Интернета – элементарный поток от пользователя.

Первой основной задачей являлось обоснование корректности определения элементарного потока от службы Интернет, т.е. обоснование того факта, что специфические службы Интернета (Е – mail, WWW, Skype и т.д.) создают специфические характерные только для них случайные потоки данных и эти потоки могут быть однозначно идентифицированы в рамках подходов теории случайных процессов.

Для решения этой задачи были проведены экспериментальные измерения потоков данных, генерируемых различными службами Интернета.

Для измерения и обработки результатов измерения была разработана соответствующая измерительная технология. Эта

измерительная технология в части проведения экспериментальных исследований базировалась на использовании программы учета трафика и организации доступа в Интернет для операционных систем Microsoft Windows, а в части обработки данных базировалась на методах математической статистики.

Объем экспериментальных данных, включенных в диссертацию, составляет приложение объемом 47 страниц.

Проведенная статистическая обработка подтвердила гипотезу автора, что специфические Интернет - службы имеют «свое лицо» - порождают специфические потоки данных определенного типа и с определенными статистическими характеристиками. Соответствующие типы потоков были описаны автором для основных Интернет – служб (Е – mail, WWW, Skype и т.д.), а их числовые значения были определены. Таким образом, задачу обоснования корректности определения элементарного потока от Интернет - службы можно считать решенной.

Решение этой задачи позволяет создать компьютерные модели каждого элементарного потока в виде компактных процедур (что было реализовано на языке Си).

Приведем сравнительный пример экспериментально измеренного потока данных, создаваемого при работе Интернет службы электронная почта и модели соответствующего потока данных, сгенерированного при помощи компьютерной модели. Трафик при наборе двух электронных писем представлен на рисунках Рис.1 и Рис. 2.

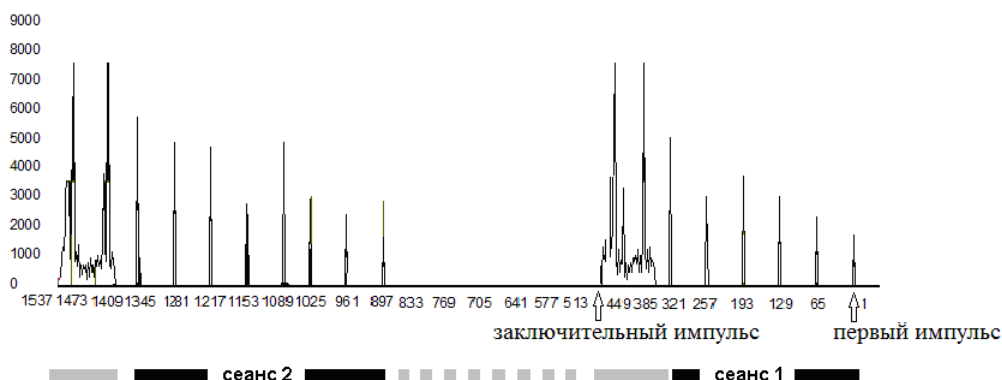


Рис.1. Трафик «набор двух электронных писем».
Экспериментальные данные

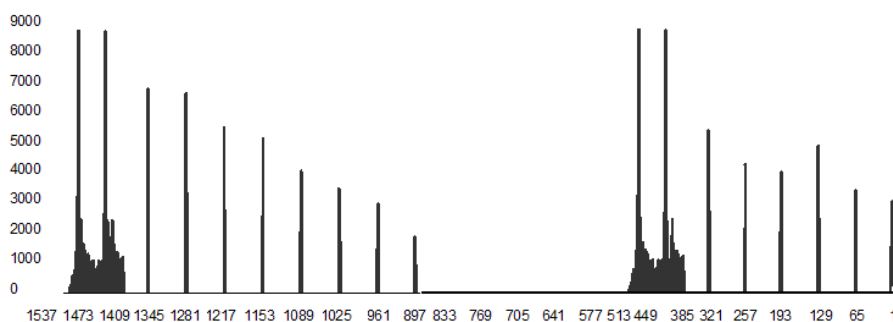


Рис.2. Трафик «набор двух электронных писем»,
представленных на рис.1, сгенерированный программой для ЭВМ

Элементарный поток от пользователя соответствует использованию пользователем последовательно или одновременно нескольких служб Интернета. Установлено, что при последовательном использовании служб Интернета элементарный поток от пользователя состоит из последовательных фрагментов соответствующих Интернет – служб. На Рис. 3 представлен фрагмент трафика от единичного пользователя.

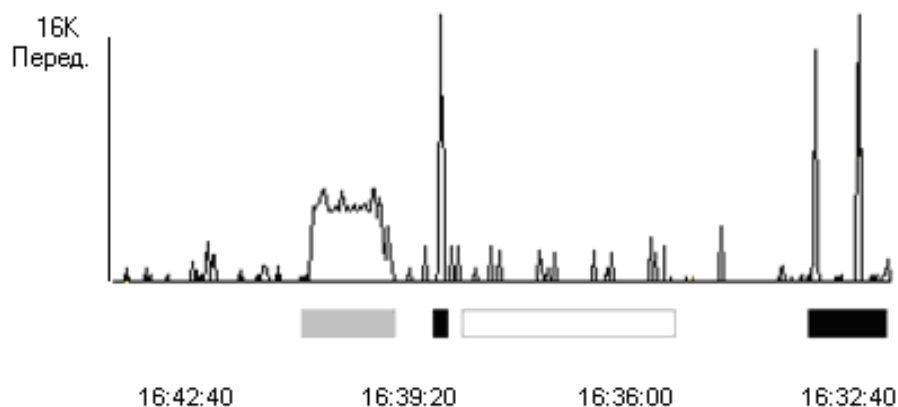


Рис.3. Фрагмент выходного сетевого трафика ЭВМ единичного пользователя

В трафике явно выделяются непрерывные (выделено серым прямоугольником снизу) и дискретные фрагменты. В свою очередь, дискретные фрагменты выходного потока также имеют различия. На рис.3 видны независимые дискретные события (выделены черным прямоугольником снизу) и фрагмент потока, который может быть оценен как квазипериодический (выделено белым прямоугольником снизу).

При одновременном использовании нескольких служб Интернета происходит наложение (суперпозиция) потоков данных. Соответствующий вопрос с общих позиций изучается в следующей главе.

Третья глава посвящена изучению взаимодействия нескольких элементарных потоков данных. Основное внимание уделено суммированию выходных потоков данных, создаваемых работой нескольких ЭВМ.

Даже на одной ЭВМ может быть запущено несколько служб. Отсюда возникает вопрос о взаимодействии нескольких потоков. Можно решать данную задачу путем микроскопического анализа (на уровне пакетов). А можно решать путем макроскопического анализа – на уровне потоков данных, где единицами времени

являются секунды. Последнее можно делать экспериментально, т.к. это надежно, измеряемо и воспроизводимое.

Вопрос о взаимодействии потоков данных в сетях ЭВМ является нетривиальным. С одной стороны, широко применяются «гидродинамические» модели, основанные на предположении, что в «узлах» сети потоки данных суммируются. С другой стороны, хорошо известны и широко применяются различные способы сжатия данных, изменяющие объем данных. Таким образом, вопрос о взаимодействии потоков должен рассматриваться применительно к конкретной технологии передачи данных. Нами этот вопрос рассматривается применительно к типовым службам Интернет и типовым локальным сетям.

Вопрос о взаимодействии потоков данных возникает уже для одной ЭВМ, при работе на ней нескольких служб Интернета. На Рис. 4 показан трафик при наложении событий (выполнении пользователем нескольких Интернет - программ), в данном случае – программы аудиосвязи Skype и просмотра интернет - страниц.

Фрагмент 1 соответствует выполнению одной программы Skype, фрагмент 2 соответствует просмотру интернет - страниц при отсутствии Skype, фрагмент 3 соответствует выполнению программы Skype и одновременному просмотру (в процессе сеанса аудиосвязи) тех же интернет - страниц.

Как видно, при наложении процессов их скорости передачи суммируются (скорость передачи для процесса 3 равна, с незначительной погрешностью, сумме скоростей для процессов 1 и 2). Данный факт был проверен для большого числа (более 50) случаев наложения потоков данных. Вывод справедлив при условии, что величины потоков не превышают пропускной способности канала.

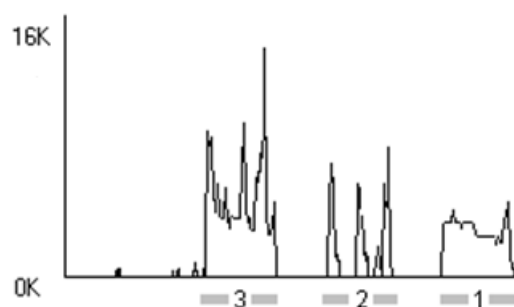


Рис. 4. Суммирование скорости передачи данных при наложении событий

На Рис.5 показана типичная схема выходных потоков от персональных компьютеров (ПК) пользователей – ЭВМ 1, ЭВМ 2, ЭВМ 3, объединенных в локальную сеть. Потоки иницируются пользователями в различные промежутки времени. Выходные потоки с ЭВМ поступают на коммутатор, где создается суммарный выходной поток.

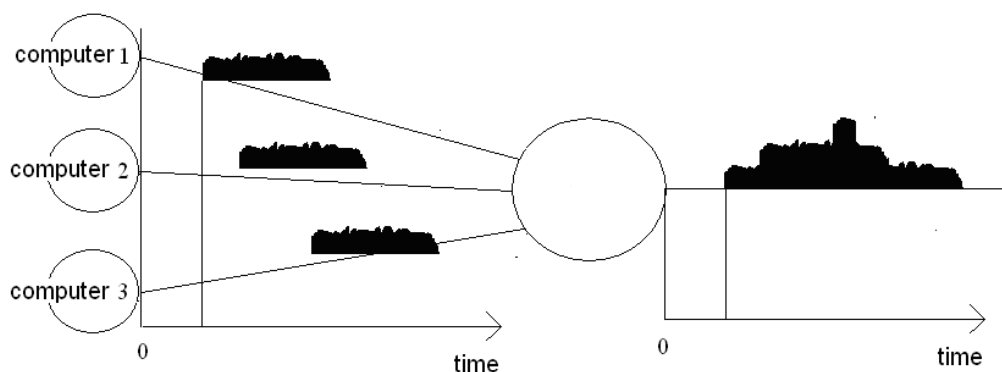


Рис.5. Элементарные выходные потоки от ЭВМ пользователей и суммарный выходной поток

На рис.6 представлены 2 выходных потока для сеанса связи аудио видеопрограммы Skype в тестовом режиме с Echo/Sound Test Service для двух ЭВМ в локальной сети. Сеансы «накладываются» друг на друга во времени (времена наложения сеансов показаны серыми прямоугольниками). Приведенные данные получены с разных ЭВМ, в связи с чем показания времени на рисунках различается.

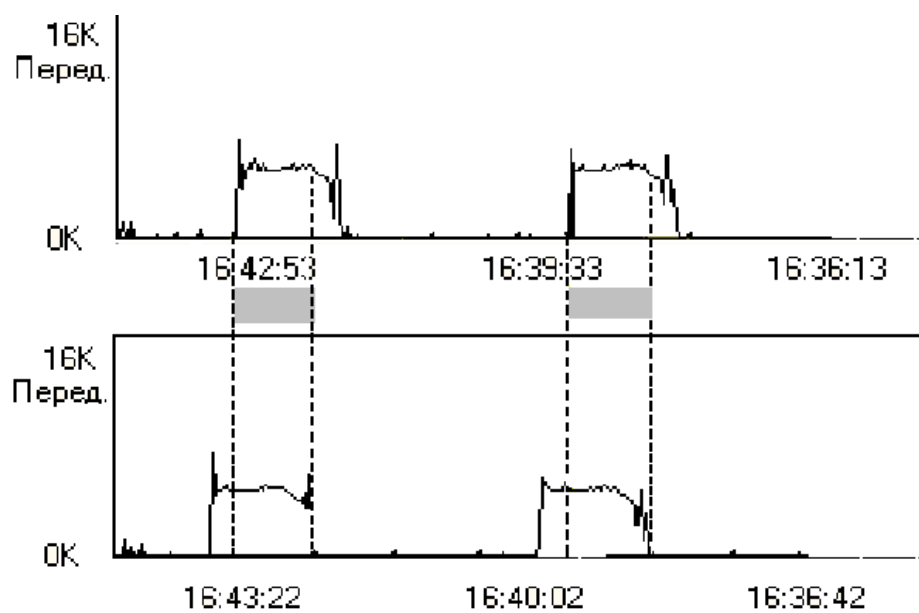


Рис. 6. Два выходных потока сеанса связи аудио видеопрограммы Skype для двух ЭВМ

На Рис. 7 показан выходной поток за тот же промежуток времени.

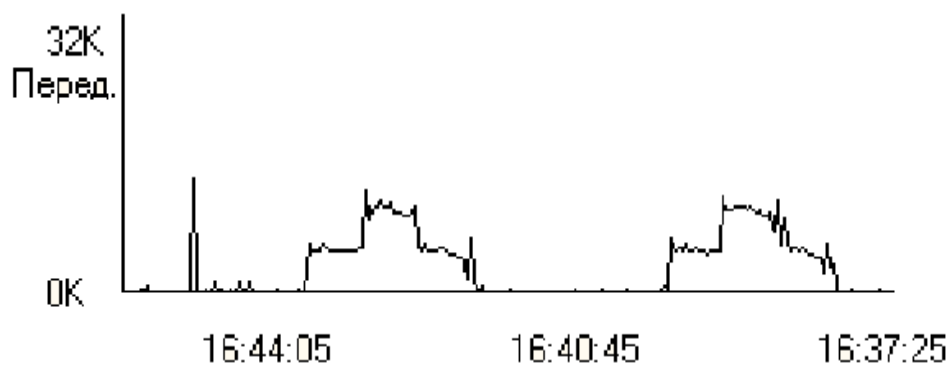


Рис 7. Выходной поток для сеанса связи аудио видеопрограммы Skype для двух ЭВМ

В результате приходим к выводу, что в рассмотренных нами сетях с технологией Ethernet для суперпозиции потоков имеет место правило аддитивности для скорости передачи данных.

Полученный вывод позволяет проводить расчет трафика в любых узлах локальной сети простым суммированием скоростей потоков данных.

Полученные в главах 1-3 экспериментальные и теоретические результаты, а также результаты численного моделирования элементарных потоков данных - потоков данных от отдельных служб Интернет, открывают широкие возможности для численного моделирования потоков данных в локальной сети в зависимости от самых разнообразных параметров: числа пользователей, режима работы пользователей, относительной частоты (приоритетности) использования пользователями тех или иных программ Интернет, топологии локальной сети и т.д. Поскольку число пользователей локальной сети ограничено (1024 для сети Ethernet), а компьютерные модели элементарных потоков получаются весьма компактными процедурами, то решение задач численного моделирования на современных ЭВМ требует небольших затрат времени. Основным момент при использовании предложенного автором подхода, например, администраторами или проектировщиками сети переносится на анализ реальных параметров функционирования сети и работы персонала в их конкретной организации. Принципиальная схема использования разработанного автором подхода обсуждается в следующей главе.

В четвертой главе приведена методология расчета трафика в локальных сетях ЭВМ на основе экспериментально-численного моделирования.

Выяснение типа трафика и типа соответствующего распределения скорости передачи данных и его параметров, составляет основное содержание данной главы.

Экспериментально-численный подход основан на численном моделировании процесса, при котором существенная часть

данных, используемых в модели, берется непосредственно из результатов натурного эксперимента (экспериментов).

Автор использовал экспериментально-численный подход применительно к расчету трафика в локальных сетях ЭВМ, возникающего в результате использования служб Интернета. В настоящее время этот тип трафика является основным в сетях ЭВМ для массового пользователя, в связи с чем тема является актуальной.

Основой разработки автора являются экспериментальные исследования потоков данных в локальных сетях ЭВМ и созданные на основе этих экспериментальных данных численные модели элементарных потоков данных - потоков данных от отдельных служб Интернет, представленные в предыдущих главах.

Как отмечалось, расчет трафика в конкретной ситуации должен использовать не только «технические» данные - данные о потоках данных, топологии сети и т.п., но и данные о реальной или планируемой активности пользователей (т.е. в полном объеме задача имеет явно выраженный междисциплинарный характер, автор изучал вопросы относящиеся к специальности диссертации). В этой связи методология применения экспериментально-численного подхода изложена на примере расчета трафика, возникающего при использовании пользователями только одной службы Интернет - электронной почты. Это не снижает общности изложения, поскольку рассмотрение общего случая может производиться по той же схеме. При этом (при необходимости) следует провести натурные эксперименты и получить модели элементарных потоков, создаваемого конкретными службам Интернета, отличными от рассмотренных в диссертации. Методика получения моделей элементарных потоков описана в главе 2.

Приведем результаты расчетов. Отметим, что загрузка сети зависит как от числа пользователей, так и от режима их работы. В

приводимом расчете число пользователей в численном эксперименте варьировалось от 10 до 1000. Время непрерывной работы пользователей взято равным 4 часам (половина рабочего дня). В Табл.1. приведены параметры работы пользователей (это экспериментальные данные, полученные хронометражем работы нескольких групп пользователей, соответствуют случаю, когда основной работой пользователя является ведение переписки по электронной почте).

Табл.1. Параметры работы пользователей

Название параметра	Значение параметра
Интервал времени между наборами писем	10 минут
Время набора письма одним пользователем	6 - 7 минут

На рисунках Рис.8,9 приведены примеры компьютерного моделирования трафика для описанного режима работы.

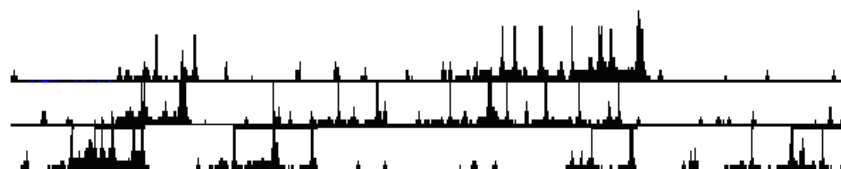


Рис.8. Трафик при 5-ти пользователях. Результат компьютерного моделирования. Фрагмент вывода на экран ЭВМ. Около 50% времени трафик — нулевой (канал «пуст»).

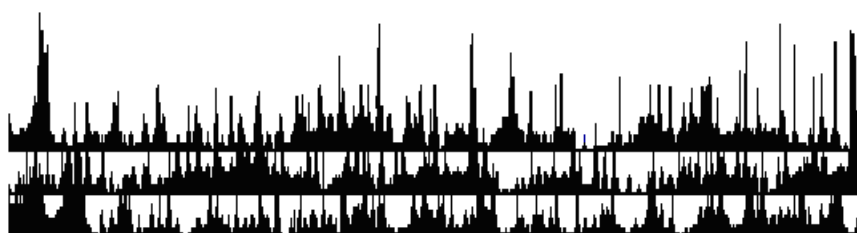


Рис.9. Трафик при 20-и пользователях. Результат компьютерного моделирования. Фрагмент вывода на экран ЭВМ.

Канал практически все время используется.

На Рис. 10 представлены графики эмпирических функций распределения для объема трафика при количестве пользователей в интервале от 20 до 100.

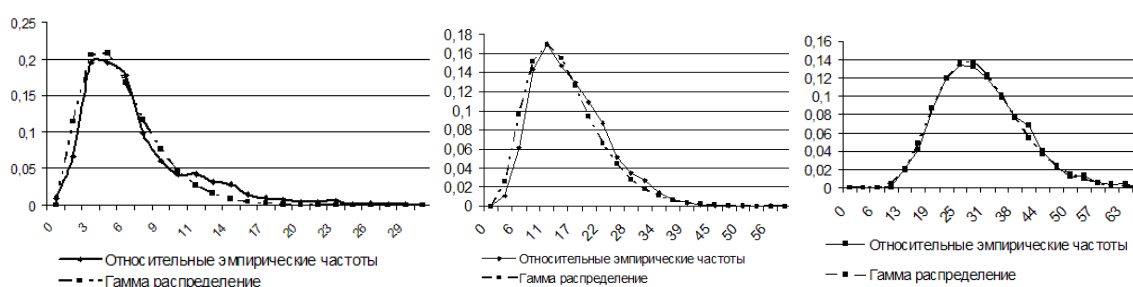


Рис. 10. Количество пользователей 20, 50, 100

Эмпирические функции распределения объема трафика имеют характерный вид, сходный с графиками функций плотности распределения гамма-распределения и с функцией распределения, задаваемой формулой

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad x \geq 0$$

где α и β - параметры функции распределения.

В связи с чем была сформулирована гипотеза о распределении полученных данных по гамма-распределению. Для оценки степени согласованности теоретического и статистического распределений применялся критерий А.Н. Колмогорова. В рассмотренных случаях критические вероятности, рассчитанные по критерию Колмогорова при выборе гамма-распределения с надлежащими значениями параметров, принимали значения на уровне 0.99-0.96.

Параметры α и β рассчитаны по критерию минимума среднего квадратичного отклонения эмпирических функций распределения от

функции $f(x; \alpha, \beta)$. Найденные значения параметров представлены в Табл.2.

Табл.2. Количество пользователей и параметры гамма-распределения

Количество пользователей	20	30	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	2000
α	3	3,8	4	9,9	19	25	25,4	27,2	49	56,9	60	64	71	90
β	1,8	2,3	3,7	3	3	3,6	4,6	4,3	3,6	3,6	4	4,2	4,1	6,5

Все результаты, вошедшие в диссертацию, получены автором лично и опубликованы в статьях.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе, а также перспективы дальнейшей разработки темы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Введено понятие «элементарного потока» данных, соответствующего специфическим Интернет-службам. Корректность определения основана на собранных автором экспериментальных данных по измерению потоков данных при работе Интернет-служб, показавших, что конкретные Интернет-службы действительно имеют «свое лицо» (в статистическом смысле).
2. Путем статистической обработки собранных автором данных определен вид и численные характеристики «элементарных потоков» для типовых служб Интернета: E-mail, WWW, Skype (видео и аудио режимы).

3. На основе полученных экспериментальных данных и предложенного автором способа моделирования случайных величин с произвольным законом распределения создан алгоритм моделирования элементарных потоков Интернет-служб в виде программ для ЭВМ на языке Си.
4. Экспериментально подтверждено, что при наложении (суперпозиции) потоков данных в типичных локальных сетях ЭВМ может быть принято правило аддитивности (с точностью, приемлемой для инженерных расчетов).
5. Разработан алгоритм численного моделирования потоков с заданными статистическими характеристиками, позволяющий задавать статистические характеристики потоков в различных формах – аналитическом, табличном и т.д.
6. Разработана методология расчета трафика в локальных сетях ЭВМ на основе экспериментально-численного моделирования. Разработанная методология позволяет проводить расчет трафика в локальных сетях ЭВМ при различном числе пользователей, различных режимах работы пользователей, составе используемых Интернет-служб и интенсивности их использования. В качестве примера проведены расчеты вероятности распределения суммарного потока данных при использовании одной из Интернет-служб (E-mail) при изменении числа пользователей локальной сети от 10 до 1000 человек.

В качестве перспективы дальнейшей разработки темы автор отмечает вопросы, связанные с явно выраженным междисциплинарным характером исследования, именно с перспективой изучения активности пользователей (как отмечалось, автор изучал вопросы, относящиеся к специальности диссертации). Вторым направлением является возможность применения рассмотренных методов к различного рода электронным приборам

и системам, создающим в процессе своей работы потоки данных специфического вида без участия человека.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из перечня ВАК РФ

1. Филимонова Н.А. Построение и исследование класса потоков случайных событий, ориентированных на иммитационное моделирование передачи данных в беспроводных сетях // Вестник СибГУТИ. - 2012. - №2.- С. 24-34.
2. Филимонова Н.А. Модель элементарного потока данных в Интернете // Вестник СибГУТИ. - 2013. - №2.- С. 54-68.
3. Филимонова Н.А. Методология расчета трафика в локальных сетях ЭВМ на основе экспериментально-численного моделирования // Вестник СибГУТИ. - 2019. - №1.- С. 16-31.

Публикации в сборниках трудов и материалах конференций

1. Филимонова Н.А. Статистический анализ элементарного потока данных в Интернете // XI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «ИТММ-2012 информационные технологии и математическое моделирование». Анжеро-Судженск, 23-24 ноября 2012г.
2. Филимонова Н.А. Модель элементарного потока данных в Интернете // XIV Российская конференция с участием иностранных ученых «Распределенные информационные и вычислительные ресурсы» (DICR'2012). Новосибирск, Академгородок. 26-30 ноября 2012.

3. Филимонова Н.А. Анализ сумм потоков данных, генерируемых Skype // Российская научно-техническая конференция «Современные проблемы телекоммуникации», СибГУТИ материалы конференции том 1 стр. 131-138, 24 апреля 2015г.

4. Колпаков А.Г., Филимонова Н. А. Экспериментальное исследование начальной стадии формирования потоков данных в интернете // XIV Международная конференция имени А.Ф. Терпугова «ИТММ-2015 "Информационные технологии и математическое моделирование». Томск, 18-22 ноября 2015г.

5. Филимонова Н.А. Средние скорости потоков данных, создаваемых службами Интернета // Российская научно-техническая конференция «Современные проблемы телекоммуникации», СибГУТИ материалы конференции том 1 стр. 131-138, 21- 22 апреля 2016 г.

Автореферат

Филимонова Нина Анатольевна

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СУММ ПОТОКОВ ДАННЫХ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать « » 201 г.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л.
Тираж . Заказ .

Отпечатано в
630090, Новосибирск, Тел. (383)