

На правах рукописи

Никольский Николай Николаевич

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА ВЫЗОВОВ
В СЕТЯХ ПАКЕТНОЙ ТЕЛЕФОНИИ ДЛЯ КОДЕКОВ С ПЕРЕМЕННОЙ
ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Специальность 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2007

Работа выполнена в Московском техническом университете связи и информатики на кафедре информационных сетей и систем

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Степанов Сергей Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Самуйлов Константин Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент
Попова Адина Григорьевна

Ведущая организация: ФГУП ЦНИИС

Защита состоится "___" _____ 2007 г. в ___ час. на заседании диссертационного совета Д.002.077.01 при ИППИ РАН по адресу: Москва, Большой Каретный переулок., дом 19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИППИ РАН

Автореферат разослан "___" _____ 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Цитович И.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Развитие сетей связи следующего поколения (NGN), основывающихся на технологии коммутации пакетов, уже достигло того уровня, когда можно говорить об их широком использовании операторами связи, уделяющих большое внимание высокому качеству предоставления услуг. Вместе с тем, методики расчета подобных сетей до сих пор остаются недостаточно развитыми, и в большинстве случаев при их проектировании закладывается потребность в гораздо большей пропускной способности, чем оказывается необходимо на самом деле. Зачастую, при таких расчетах используются методы традиционной теории телетрафика, основывающейся на работах А.К. Эрланга, Т. Энгсета, Г. О'Делла, К. Пальма, А.Я. Хинчина и др., предназначенной для расчета систем, использующих технологию коммутации каналов.

Использование технологии коммутации пакетов и ряда других сопутствующих технологий (например, технологии подавления пауз – VAD) приводит к принципиально иной структуре трафика, требующей разработки новых методов расчета и новых алгоритмов для таких сетей. Среди работ зарубежных ученых, посвященных данной тематике, можно выделить работы А. Андерсона (A. Anderson), А. Байоччи (A. Baiocchi), В. Виллингера (W. Willinger), К. Линдемманна (C. Lindemann), Д. Лукантони (D. Lucantoni), Д. Тоусли (D. Towsley) и др. Среди исследователей отечественной школы особый интерес представляют работы Г.П. Башарина, В.М. Вишневого, А.Н. Дудина, С.Н. Степанова, О.И. Шелухина и др. Основным направлением работ по данной тематике является разработка методик оценки производительности сетей связи следующего поколения, в то время как вопросу управления параметрами поступающих в сеть потоков трафика уделяется не столь большое внимание.

Применительно к передаче речи через пакетные сети, это означает, что принятые при проектировании сети NGN параметры кодирования речевой

информации считаются неизменными в процессе ее эксплуатации, а расчет нагрузки, создаваемый пакетным голосовым трафиком производится исходя из этих фиксированных данных. Такая фиксация параметров кодирования вызовов, используемая на этапе проектирования сети, не позволяет оператору динамически адаптироваться к возникающим в сети перегрузкам, в результате чего или неэффективно используется доступная пропускная способность каналов связи, или снижается качество обслуживания абонентов.

Таким образом, разработка адаптивного алгоритма контроля доступа вызовов, позволяющего повысить эффективность использования ресурсов сети NGN, является актуальной.

Цель работы и задачи исследования. Целью настоящей диссертационной работы является разработка адаптивного двухступенчатого алгоритма контроля доступа вызовов, решающего описанную проблему. Разработанный алгоритм позволяет программному коммутатору принимать решения о наличии в сети NGN необходимых ресурсов для обслуживания вновь поступившего вызова. В случае отсутствия таковых, алгоритм позволяет модифицировать параметры уже установленных соединений для освобождения части сетевых ресурсов. Для разработки адаптивного алгоритма в работе были решены следующие основные задачи:

1. разработка математической модели сегмента сети пакетной телефонии;
2. определение критерия принятия нового вызова на обслуживание при рассчитанных по математической модели характеристиках работы пакетной сети;
3. подготовка и проведение эксперимента по измерению (снятию) трафика сети пакетной телефонии, а также выполнение статистического анализа полученных реализаций трафика для оценки ряда параметров, используемых в математической модели;

4. разработка основных принципов функционирования нового адаптивного алгоритма контроля доступа вызовов в сети пакетной телефонии;
5. формализация предложенного алгоритма контроля доступа вызовов в сети пакетной телефонии, разработка блок-схемы алгоритма;
6. разработка принципов реализации предложенного алгоритма в существующих системах, программная реализация алгоритма;
7. проведение статистического эксперимента (имитационное моделирование на ПК) и оценка эффективности предложенного алгоритма.

Методы исследования. Для решения перечисленных задач в работе использовались методы теории вероятностей, теории марковских процессов, теории телетрафика, методы статистической обработки данных и имитационного моделирования.

Научная новизна. В диссертации получены следующие новые научные и практические результаты:

1. Разработана методика использования субъективной оценки качества связи, воспринимаемой абонентом (R-фактора), в качестве математически рассчитываемого критерия принятия вызова на обслуживание.
2. Проведено измерение и исследование голосового трафика на пакетном ядре GSM сети, использующей кодеки с переменной интенсивностью передачи информации. Насколько известно автору, подобное исследование трафика в коммерческой GSM сети было проведено впервые в РФ. Оценена эффективность внедрения механизма VAD на пакетных голосовых сетях, используемых GSM операторами, а также обнаружены специфические особенности распределения длительностей ON и OFF в них.
3. Сформулированы рекомендации по очередности изменения параметров кодирования вызовов в случае необходимости

сокращения занимаемой ими пропускной способности на основании проведенного исследования влияния параметров кодирования голосовых соединений на занимаемую пропускную способность и качество передачи речи.

4. Разработан новый адаптивный алгоритм контроля доступа вызовов в сетях связи следующего поколения. Разработана программная реализация этого алгоритма на языке Java.
5. Разработана имитационная модель сегмента сети связи следующего поколения. При помощи этой модели проведено исследование работы предложенного алгоритма в фиксированной и мобильной сетях связи; оценено улучшение количественных и качественных показателей работы сети при его внедрении.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Результаты статистического анализа трафика пакетной мобильной сети, использующей кодеки с переменной и фиксированной интенсивностью передачи информации.
2. Применение технологии VAD в мобильных сетях менее эффективно, чем в фиксированных. Согласно проведенным исследованиям, в мобильной сети ON периоды занимали 77% времени разговора, что отличается от известных результатов, для фиксированных сетей, опубликованных в литературе, указывающих на цифру около 40%.
3. Предложенный алгоритм позволяет избежать перегрузок на сети, динамически принимая решение об отказе в установлении соединения при отсутствии достаточного количества ресурсов в сети.
4. Предложенный алгоритм контроля доступа вызовов позволяет в предельном случае до 7-ми раз увеличить пропускную способность фиксированной сети пакетной телефонии, выраженную в Эрлангах. В мобильной сети пропускная способность возрастает до 2-ух раз.

5. Предложенный алгоритм позволяет значительно увеличить качество связи в моменты недогрузки сети. В фиксированных сетях увеличение значения R-фактора составляет 15 пунктов, а в мобильных сетях – 12 пунктов.
6. Результаты анализа быстродействия созданной программной реализации предложенного алгоритма, показывающие, что разработанный алгоритм может применяться в режиме реального времени в системах с каналами, эквивалентными по пропускной способности сотням потоков E1.

Личный вклад. Все эксперименты по снятию сетевого трафика и имитационному моделированию предложенного алгоритма подготовлены и проведены автором самостоятельно. Также самостоятельно разработана программная реализация предложенного алгоритма и получены все остальные результаты диссертационной работы.

Практическая ценность работы и её реализация. Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы при проектировании мобильных и фиксированных сетей связи следующего поколения. Разработанный алгоритм контроля доступа вызовов может использоваться в сетях связи следующего поколения для повышения их пропускной способности по вызовам, а также улучшения качества передачи речи в моменты недогрузки.

Предложенный в работе алгоритм внедрен в эксплуатацию на сети пакетной телефонии ООО «АГ Телеком». Полученные в работе результаты используются в ЗАО «АМТ Групп» при проектировании сетей связи следующего поколения, а также внедрены в учебный процесс на кафедре ИСиС МТУСИ в качестве одного из компонентов в рамках процесса обучения студентов по специальности 200900 «Сети связи и системы коммутации». Использование результатов работы засвидетельствовано в соответствующих актах.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научной сессии РНТОРЭС им. А.С. Попова, посвященной Дню Радио (60 сессия); научных конференциях профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава МТУСИ (2005 – 2006 годы); на конференциях «Телекоммуникационные и вычислительные системы» в рамках Международного форума информатизации (2004 – 2006 годы); на кафедре ИСиС МТУСИ.

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 9 печатных работ (из них 4 – статьи в ведущих научных журналах).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений. Работа изложена на 168 страницах машинописного текста, содержит 67 рисунков, 4 таблицы и список литературы из 86 наименований.

Краткое содержание работы.

Во введении обосновывается актуальность решаемой в диссертации научно-технической проблемы, сформулированы цель и задачи исследований, описывается научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе, посвященной принципам построения сетей связи следующего поколения, рассматривается логическая и физическая структура этих сетей, особенности передачи речи через такие сети, типы используемых кодеков, а также технология VAD, использование которой значительно усложняет профиль пакетного голосового трафика. Кроме того, в первой главе производится анализ характеристик качества передачи речевой информации через сети коммутации пакетов, и рассматриваются основные методы его обеспечения.

Трафику пакетной телефонии в сети как правило присваивается наибольший приоритет (этот трафик требует минимальных потерь, минимальной задержки и джиттера), поэтому при проектировании сети основное внимание уделяют расчетам именно этого типа нагрузки. Тем не

менее, предварительные расчеты с использованием традиционных методов теории телетрафика могут дать лишь верхнюю оценку требуемой пропускной способности. Учитывая высокую степень пиковости трафика пакетной телефонии, такая верхняя оценка в разы превышает среднее значение требуемой пропускной способности даже в ЧНН, поэтому ресурсы в таких сетях используются неэффективно.

В связи с этим, для корректной и эффективной работы пакетных голосовых сетей как правило используют алгоритмы контроля доступа вызовов (CAC – Call Admission Control), выполняющиеся при поступлении на обслуживание каждого нового вызова. Такие алгоритмы оценивают соответствие статистических характеристик функционирования сети пакетной телефонии нормативным значениям для $N+1$ установленных соединений при N уже установленных соединениях. В случае соответствия этих характеристик нормам, новый вызов принимается к обслуживанию, а в случае несоответствия вызов получает отказ. Подобные алгоритмы должны выполняться в режиме реального времени для каждого вызова, поэтому одной из самых важных особенностей таких алгоритмов является максимальное сокращение их вычислительной сложности.

Несмотря на существование достаточно большого количества работ по алгоритмам контроля доступа вызовов, стоит отметить, что все они либо концентрируются на разработке алгоритма для потоков данных, не учитывая специфики потоков, создаваемых пакетными голосовыми соединениями, либо, учитывая некоторую телефонную специфику, используют в качестве критерия принятия вызова на обслуживание вероятность потерь пакетов, в то время как сама по себе эта характеристика не является общепринятым показателем качества для передачи голосового трафика.

В диссертационной работе разрабатывается новый динамический алгоритм контроля доступа вызовов, учитывающий восприятие качества передачи речи конечным пользователем, и способный к динамическому управлению характеристиками кодирования голосовых вызовов. В связи с

этим в первой главе формулируются основные задачи, которые необходимо решить для разработки такого алгоритма.

Вторая глава посвящена описанию математической модели сегмента сети связи следующего поколения, которую предполагается использовать в разрабатываемом алгоритме. Рассматривается MMRP процесс, позволяющий точно описать суперпозицию нескольких голосовых соединений, а также его аппроксимация – MMPP процесс. В качестве источника пакетов рассматривается отдельное телефонное соединение, генерирующее пакеты фиксированной длины D через случайные экспоненциально распределенные промежутки времени во время речевой активности абонента (ON-периоды), и не создающее ни одного пакета во время пауз (OFF-периоды). Такой источник можно рассматривать как процесс рождения и гибели с двумя состояниями с интенсивностью рождения β и интенсивностью гибели α . Одно состояние соответствует периодам молчания, а другое – периодам голосовой активности. Предполагается, что ON и OFF-периоды экспоненциально распределены со средними значениями $\frac{1}{\alpha}$ и $\frac{1}{\beta}$.

Наложение голосовых источников, т.е. ситуацию, когда в узле установлено одновременно несколько телефонных соединений, можно рассматривать как процесс рождения и гибели, где состояния отражают число источников, которые находятся в ON-состоянии на данный момент. Здесь состояние i подразумевает, что в текущий момент времени i источников активны. Вероятности нахождения источника в состоянии ON или OFF, обозначаемые как p_{on} и p_{off} , определяются как $p_{on} = \frac{\beta}{\alpha + \beta}$ и $p_{off} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$. Вероятности предельного состояния π_i , что фазовый процесс находится в состоянии i определяются при помощи биномиального распределения с параметром p_{on} : $\pi_i = \binom{N}{i} p_{on}^i (1 - p_{on})^{N-i}$, где N – число

источников, которые накладываются. К тому же матрица интенсивностей фазового процесса выглядит как

$$Q = \begin{pmatrix} -N\beta & N\beta & 0 & 0 \\ \alpha & -[\alpha + (N-1)\beta] & (N-1)\beta & 0 \\ 0 & 2\alpha & -[2\alpha + (N-2)\beta] & (N-2)\beta \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & (N-1)\alpha & -[(N-1)\alpha + \beta] & \beta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & N\alpha & -N\alpha \end{pmatrix}$$

Обозначив интенсивность генерации пакетов одним источником как L , можно получить интенсивность поступления пакетов от i активных источников $\lambda_i = iL$. Граф получившегося процесса показан на рис. 1.

Маршрутизатор, обслуживающий поступающие пакеты и передающий их на магистральный уровень СПД, может быть представлен как статистический мультиплексор, имеющий буфер конечного размера. Считается, что на маршрутизаторе все пакеты голосового трафика попадают в одну приоритетную очередь, в пределах которой обслуживаются по дисциплине FIFO. Так как пакеты имеют одинаковый размер, время обслуживания является детерминированным. Таким образом, мы приходим к модели MMPP/D/1/K, которая дает возможность оценить задержку T_a и вероятность потерь пакетов p_{loss} в пакетной сети. Эта модель достаточно известна и впервые была предложена Давидом Лукантони в 1986 г.

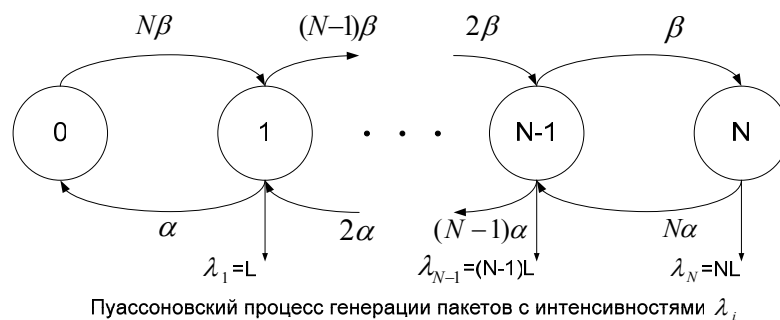


Рис. 1. Суперпозиция голосовых источников. Экспоненциально распределённые времена между поступлениями.

Кроме того, во второй главе описывается предлагаемый для разрабатываемого алгоритма критерий принятия вызова на обслуживание – R-фактор, введенный в рекомендации МСЭ-Т G.107 и отражающий субъективное восприятие качества связи абонентом, и получаемый на основании результатов расчетов модели MMPP/D/1/K. Согласно рекомендации МСЭ-Т G.107 расчет R-фактора производится путем сложения нескольких величин, характеризующих искажения в тракте передачи речи, лишь два из которых (коэффициенты l_d и l_e) зависят от состояния транспортной пакетной сети, используемой для передачи голоса. Значения этих коэффициентов и определяются после расчета модели MMPP/D/1/K, после чего вычисляется значение R-фактора.

В третьей главе приводятся результаты эксперимента по сбору и исследованию голосового трафика пакетной мобильной сети, использующей технологию VAD. Насколько известно автору, подобное исследование трафика в реальной коммерческой пакетной сети было проведено впервые в РФ, поэтому приведенные в данной главе результаты имеют особую ценность.

Перед проведением анализа экспериментальных данных в главе приводится описание типовой процедуры агрегирования исходных последовательностей, а затем предлагается ее модификация, обладающая меньшей погрешностью. Показывается, что типовая процедура является частным случаем предложенной процедуры агрегирования.

Наряду с общим анализом полученных последовательностей, в третьей главе приводятся результаты анализа эффективности статистического мультиплексирования для голосовых соединений, использующих технологию VAD. Для этого рассматривается т.н. «усредненное соединение», представляющее собой последовательность отсчетов $X = \{X(\Delta T), X(2\Delta T), \dots, X(n\Delta T)\}$, равных мгновенной пропускной способности усредненного соединения во времена $\{\Delta T, 2\Delta T, \dots, n\Delta T\}$. При этом

$X(k\Delta T) = M(X_i(k\Delta T))$, где X_i – i -ое соединение из исследуемых экспериментальных данных ($i = 1 \dots N$). Переменная N называется уровнем усреднения. В главе показано, что основное падение пропускной способности для усредненного разговора происходит при небольших уровнях усреднения (единицы вызовов), а в дальнейшем она изменяется не сильно. Из этого следует, что основной эффект от использования механизма VAD может быть достигнут даже на относительно низкоскоростных каналах связи, способных пропустить через себя лишь небольшое количество соединений, поэтому использованию технологии VAD на таких каналах является наиболее целесообразным.

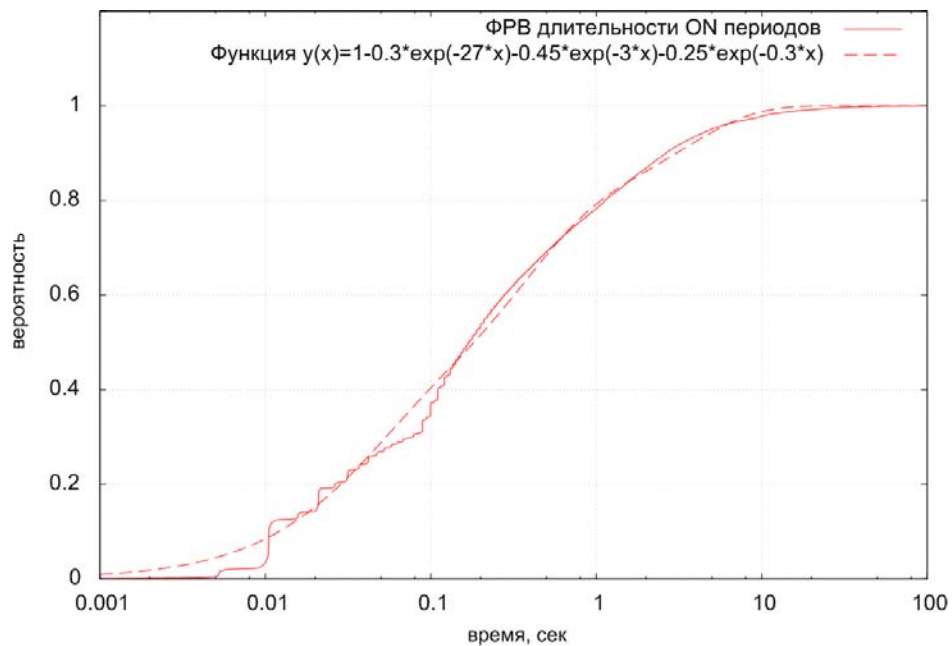


Рис. 2. Функция распределения вероятностей длительности ON периодов.

Кроме того, в главе проводится исследование распределения длительностей OFF и ON периодов (см. Рис. 2). Эти длительности не являются экспоненциально распределенными, но их ФРВ достаточно хорошо аппроксимируются суммой трех экспонент. Подобная точная аппроксимация, ведущая к разбиению одного состояния модели MMPP на три, может быть использована для точного расчета пропускной способности сети пакетной телефонии при заранее зафиксированных параметрах кодирования речевой

информации. Тем не менее, в целях упрощения разрабатываемого алгоритма, в данной работе было предложено остановиться на использовании экспоненциального распределения длительности ON/OFF периодов с математическим ожиданием, совпадающим с полученным в результате эксперимента.

Другим важным результатом, полученным в третьей главе, явились средние значения OFF (0.047 сек) и ON (0.16 сек) периодов, а также то, что ON периоды занимали 77.3% времени разговора. Эти значения отличаются от приведенных в литературе, где длительность ON периодов примерно равна длительности OFF периодов и колеблется в районе 0.2 ~ 0.3 сек. в зависимости от типа используемого детектора тишины, а время нахождения вызовов в ON состоянии составляет ~40%. Такой результат может быть объяснен тем, что объектом исследования в данном случае являлась мобильная сеть, вызовы в которой производятся из мест с высоким уровнем фонового шума (из автомобиля, на улице и т.п.). Такой шум присутствовал при воспроизведении записанных в ходе эксперимента разговоров, перекрывая в некоторые моменты голос говорившего. Очевидно, что в данных условиях механизм VAD определяет наличие пауз в разговоре значительно реже, а длительность самих пауз оказывается гораздо короче, чем в случае для фиксированных сетей телефонии. Обнаруженные особенности функционирования механизма VAD в фиксированных и мобильных сетях были использованы в разрабатываемом алгоритме контроля доступа вызовов для учета специфики сети связи.

В четвертой главе описываются дополнительные упрощения, вносимые в математическую модель для обеспечения возможности выполнения разрабатываемого алгоритма в режиме реального времени. В частности, предлагается снизить количество состояний MMPP процесса до двух. Назовем состояния $\{M+1, \dots, N\}$ состояниями перегрузки (OL – Overload), а оставшиеся состояния $\{0, \dots, M\}$ состояниями недогруженности (UL – Underload). Величину M можно получить из неравенства:

$\frac{C}{LD} - 1 < M \leq \frac{C}{LD}$, $M \in \mathbf{Z}$, где C – пропускная способность канала связи, L – интенсивность поступления пакетов от одного ММРР источника в состоянии ON, а D – длина пакета. Сгруппировав OL и UL состояния вместе, можно получить новый ММРР процесс всего с двумя состояниями, аппроксимирующий исходный процесс поступлений. В новом процессе состояние OL будет соответствовать состояниям перегрузки, а другое состояние UL будет соответствовать состояниям недогруженности. Для нового процесса определяются выражения для четырёх характеризующих его параметров: r_{OL} и r_{UL} – средней интенсивности выхода из состояния OL и UL, а также λ_{OL} и λ_{UL} – интенсивности пуассоновского процесса поступлений пакетов в состоянии OL и UL. Величину r_{OL} можно вычислить, вычисляя максимальное собственное значение матрицы \mathbf{Q}_M , где \mathbf{Q}_M – матрица интенсивностей размера $(N - M) \times (N - M)$ относящаяся к состояниям $\{M + 1, \dots, N\}$. Т.к. матрица интенсивностей \mathbf{Q}_M является трехдиагональной, а ее элементы $q_{k,k+1} q_{k+1,k} \geq 0$, а $q_{k,k} \leq 0$, то ее собственные значения являются действительными и отрицательным числами. Обозначим максимальное собственное значение матрицы \mathbf{Q}_M как $-\eta$, $\eta > 0$. Аппроксимируем r_{OL} при помощи η , т.е. положим $r_{OL} = \eta$. В результате проблема определения значения r_{OL} решается классическими численными методами: вычислением собственных значений матрицы \mathbf{Q}_M и нахождением максимального из них.

Параметры λ_{OL} и λ_{UL} можно получить, вычислив среднюю скорость генерации пакетов в состоянии OL и UL фазового процесса. Тогда получим:

$$\begin{aligned}
 \lambda_{OL} &= \sum_{i=M+1}^N \lambda_i \frac{\pi_i}{\pi_{OL}} \\
 \lambda_{UL} &= \sum_{i=0}^M \lambda_i \frac{\pi_i}{\pi_{UL}},
 \end{aligned}$$

где $\pi_{OL} = \sum_{i=M+1}^N \pi_i$ и $\pi_{UL} = \sum_{i=0}^M \pi_i$. Когда значения r_{OL}, λ_{OL} и λ_{UL} получены, необходимо правильно подобрать значение r_{UL} чтобы общая средняя интенсивность λ была равна средней скорости генерации пакетов фазовым процессом, т.е. LNp_{on} . Помня что:

$$\lambda = \frac{r_{UL} \lambda_{OL} + r_{OL} \lambda_{UL}}{r_{OL} + r_{UL}},$$

и используя выражение $\lambda = LNp_{on}$, получим:

$$r_{UL} = r_{OL} \frac{LNp_{on} - \lambda_{UL}}{\lambda_{OL} - LNp_{on}}.$$

Отметим, что величина r_{UL} всегда положительна, так как $\lambda_{UL} < LNp_{on} < \lambda_{OL}$. Вычисление собственного значения матрицы является самым ресурсоемким шагом в работе всего предлагаемого адаптивного алгоритма контроля доступа вызовов. Тем не менее, предложенных упрощений оказывается достаточно для использования алгоритма в сети пакетной телефонии в режиме реального времени.

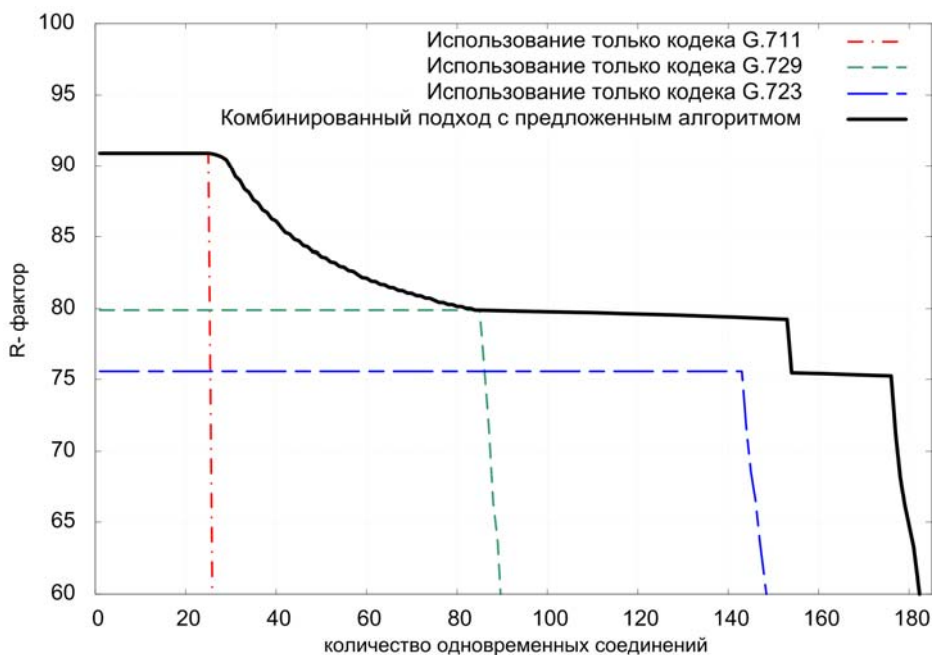


Рис. 3. Изменение R-фактора при увеличении числа одновременных соединений в сети фиксированной связи

После этого в четвертой главе в окончательном виде формулируется разработанный алгоритм контроля доступа вызовов и приводится его блок-схема. Затем приводятся результаты имитационного моделирования работы данного алгоритма в сетях мобильной и фиксированной связи, показывающие, что пропускная способность по вызовам в фиксированных сетях в рассмотренных случаях увеличивается до 7-ми раз (в предельном случае, показанном на Рис. 3, с 25 до 176 Эрланг), а в мобильных сетях до 2-ух раз. В других случаях, использование алгоритма позволяет улучшить качество обслуживания, измеряемое согласно рекомендации G.107 МСЭ-Т, с уровня «некоторые пользователи не удовлетворены» до уровня «очень удовлетворены» в сетях фиксированной связи (на Рис. 3 показано соответствующее увеличение R-фактора на 15 пунктов) и с уровня «многие пользователи не удовлетворены» до «некоторые пользователи не удовлетворены» в сетях мобильной связи.

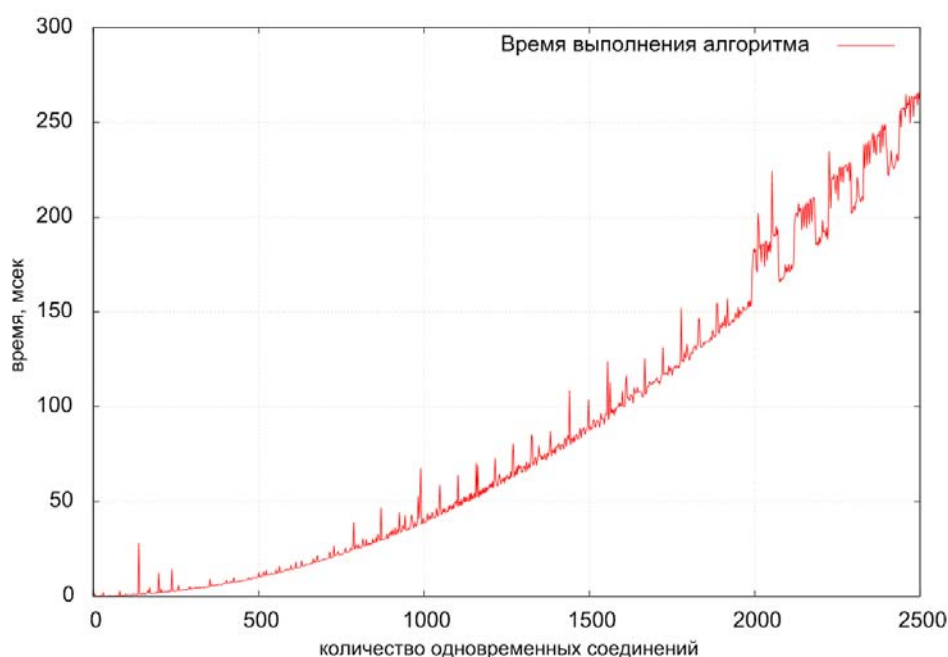


Рис. 4. Изменение времени работы алгоритма при росте количества одновременных вызовов

В завершении четвертой главы был исследован наиболее важный вопрос производительности предложенного алгоритма. На Рис. 4 показано

время выполнения алгоритма на тестовом переносном ПК с процессором Pentium M 1.5 ГГц для различного количества одновременно установленных соединений. Периодические всплески времени работы алгоритма вызваны параллельно работающими на тестовом ПК приложениями.

Увеличение количества одновременных соединений ведет к росту времени работы алгоритма (увеличивается размерность матрицы интенсивностей). Однако нужно учитывать, что подобный алгоритм будет применяться для участков сети с дефицитом пропускной способности, на которых не может быть установлено большое количество соединений. Например, при использовании одного из самых низкоскоростных кодеков AMR 4750 с алгоритмом VAD через канал E1 может быть установлено не более 240 одновременных соединений, а время работы алгоритма для такого количества вызовов составляет порядка 3 мсек. Таким образом, производительность алгоритма соответствует области его предлагаемого применения. Согласно приведенным в четвертой главе оценкам, можно ожидать применения предложенного алгоритма в системах с каналами, эквивалентными по пропускной способности сотням потоков E1 под нагрузкой сотни тысяч Эрланг.

В заключении сформулированы основные результаты работы. Наиболее важным результатом проведенных в работе теоретических и экспериментальных исследований является новый адаптивный алгоритм контроля доступа вызовов, позволяющий не только контролировать перегрузки в сети связи, но и служащий для повышения ее пропускной способности по вызовам или увеличения качества обслуживания. При этом пропускная способность по вызовам в фиксированных сетях в рассмотренных случаях увеличивается более чем в 7 раз, а в мобильных сетях более чем в 2 раза. В другом случае, использование алгоритма позволяет значительно улучшить качество обслуживания абонентов.

Для достижения этих результатов в работе было сделано следующее:

1. Подробно рассмотрена структура сетей связи следующего поколения, а

также особенности передачи речевой информации через сети коммутации пакетов, являющиеся основами сетей NGN. Рассмотрена технология VAD, использование которой с одной стороны позволяет сократить требуемую соединениям пропускную способность сети, а с другой стороны существенно меняет профиль голосового трафика, делая невозможным использование традиционных моделей теории телетрафика для расчета таких сетей.

2. Сформулирована задача разработки динамического адаптивного алгоритма контроля доступа вызовов для случая использования кодеков с фиксированной интенсивностью передачи информации (механизм VAD выключен), а также сформулированы основные подзадачи, которые необходимо решить для достижения этой цели.
3. Предложена точная математическая модель суперпозиции N голосовых соединений, использующих кодеки с переменной интенсивностью передачи информации, а также предложена ее аппроксимация для использования в разрабатываемом алгоритме. В общем виде приведено решение этой модели.
4. В качестве критерия принятия вызова на обслуживание предложено использовать математически рассчитываемую величину R -фактора. Показано, что может быть осуществлено преобразование значения R -фактора в субъективную оценку качества связи MOS и обратно.
5. Подготовлен и выполнен эксперимент по сбору и исследованию голосового трафика пакетной мобильной сети, использующей кодеки с переменной интенсивностью передачи информации. Насколько нам известно, подобное исследование трафика в реальной коммерческой пакетной сети было проведено впервые в РФ.
6. Представлены результаты статистического анализа экспериментальных данных, основными из которых являются следующие:
 - а. Основной эффект от статистического мультиплексирования голосовых соединений, использующих механизм VAD,

наблюдается при объединении их небольшого количества (10-20 шт.), поэтому применение механизма VAD оправдано даже для низкоскоростных каналов.

- b. Распределение длительностей ON и OFF периодов аппроксимируется суммой трех экспонент, что может быть использовано при проведении более точных расчетов на стадии проектирования сетей пакетной телефонии.
- c. В исследуемой мобильной сети ON периоды занимали 77% времени разговора, что отличается от результатов, приведенных в литературе для фиксированных сетей, указывающих на цифру ~40%. Такие результаты объясняются более высоким уровнем фонового шума при вызовах с мобильных телефонов, и могут считаться особенностью, присущей всем мобильным сетям.

7. На основании проведенного исследования влияния параметров кодирования голосовых соединений на требуемую ими пропускную способность и воспринимаемое абонентами качество передачи речи сформулированы рекомендации по очередности изменения параметров кодирования соединений в случае необходимости сокращения занимаемой ими пропускной способности.
8. Для обеспечения возможности функционирования разрабатываемого алгоритма в режиме реального времени предложена дополнительная оптимизация математической модели суперпозиции N голосовых соединений, использующих кодеки с переменной интенсивностью передачи информации.
9. В окончательном виде сформулирован динамический алгоритм контроля доступа вызовов в сетях пакетной телефонии и составлена его блок-схема. Создана программная реализация предложенного алгоритма на языке Java.
10. Экспериментально с помощью имитационного моделирования показано, что применение разработанного алгоритма позволяет

избежать перегрузок в сети пакетной телефонии, а также в несколько раз увеличить ее пропускную способность, выраженную в Эрлангах. Применение этого алгоритма также позволяет значительно увеличить качество связи в моменты недогрузки сети.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Никольский Н.Н. Исследование степени самоподобия сигнального трафика в узкополосных мобильных сетях // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» – 2004. М.: МТУСИ – 2004. - С. 70-71.
2. Никольский Н.Н. Исследование характеристик функционирования IP-звена ОКС№7 при различных параметрах поступающего сигнального трафика // Труды 60-й научной сессии, посвященной Дню радио. РНТОРЭС имени А.С. Попова. Том 1. М.: 2005. - С. 62-64.
3. Никольский Н.Н. Передача ОКС№7 через IP // Сети и системы связи – 2005. – №7 (127). - С. 76-79.
4. Никольский Н.Н. Двухступенчатый алгоритм контроля установления соединений в сетях пакетной телефонии // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» – 2005. М.: МТУСИ – 2005. - С. 38-39.
5. Никольский Н.Н. VoIP операторского класса // Сети и системы связи – 2005. – №13. (133) - С. 74-78.
6. Никольский Н.Н. Оценка эффективности универсального алгоритма контроля установления соединений в сетях пакетной телефонии // Тезисы докладов. Научная конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава – 2006. М.: МТУСИ – 2006. - С. 156.
7. Никольский Н.Н. Исследование статистических характеристик трафика сети пакетной телефонии. // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» – 2006. М.: МТУСИ – 2006. - С. 52-54.
8. Никольский Н.Н. Оптимизация пропускной полосы для голосовых вызовов в сети IMS // Мобильные системы – 2007. – №1. - С. 17-21.
9. Никольский Н.Н. Адаптивный алгоритм контроля доступа вызовов в сети пакетной телефонии // Электросвязь – 2007. – №2. – С. 45-48.