

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К ЭФФЕКТИВНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЗЛОВ СВЯЗИ ФИКСИРОВАННОГО ДОСТУПА

DOI: 10.36724/2072-8735-2026-20-4-33-40

Степанов Сергей Николаевич,
Московский технический университет связи
и информатики, Москва, Россия,
s.n.stepanov@mtuci.ru

Manuscript received 30 January 2026;
Accepted 31 March 2026

Степанова Ирина Владимировна,
Московский технический университет связи
и информатики, Москва, Россия,
w515iv@mail.ru

Кнаж Нума,
Московский технический университет связи
и информатики, Москва, Россия,

Ключевые слова: оптическое вычислительное устройство, извлечение квадратного корня, возведение в степень, гигагерцовый диапазон, оптический разветвитель, транспарант, оптический объединитель

Системы Internet Protocol Private Branch Exchange (IP-PBX) существенно сокращают расходы на телекоммуникации, обеспечивая связь через существующие сети передачи данных. Помимо простой экономии средств, эти системы являются основой для развития унифицированных коммуникаций (УС.) Для корпоративных сетей связи актуальна совместная передача речевой информации с файлами документооборота. Сохраняет свое значение требование достоверной оценки необходимой пропускной способности участка доступа в пакетную сеть. Необходимо создание гибких механизмов реагирования на изменение в объеме трафика и в номенклатуре услуг. Передача речи остается одним из наиболее востребованных сервисов в современных сетях связи. Причем наиболее частое явление в сетях с пакетной коммутацией - совместная передача речи и данных. В качестве исследовательской задачи авторы определяют оценку влияния трафика документооборота на качество передачи речевого трафика в корпоративных сетях пакетной коммутации. Аренда ресурса скорости на различных участках сети должна производиться с учетом необходимой пропускной способности и особенностей передачи информации. Наиболее востребованы протокол Internet Protocol Security (IPsec) на базе общедоступной сети Internet и технология Multi Protocol Label Switching (MPLS). В статье представлен подход к оценке задержек в передаче пакетов разного вида (речь и данные) на узле фиксированной связи, представленном в виде системы массового обслуживания M/G/1. Обсуждаются возможности и перспективы оценки необходимой скорости передачи информации методами теории телетрафика с учетом наличия относительных приоритетов для пакетов разного типа. Даются рекомендации по минимизации перерывов в передаче голосового трафика путем разбиения файлов документооборота на фрагменты меньшего формата.

Информация об авторах:

Степанов Сергей Николаевич, д.т.н., профессор, Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
Степанова Ирина Владимировна, к.т.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
Кнаж Нума, аспирант (Сирийская Арабская Республика), Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия

Для цитирования:

Степанов С.Н., Степанова И.В., Кнаж Нума. Разработка подходов к эффективному использованию пропускной способности узлов связи фиксированного дос-тупа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2026. Том 20. №4. С. 33-40.

For citation:

S.N. Stepanov, I.V. Stepanova, Knazh Numa, "Development of approaches to the efficient use of the bandwidth of fixed access communication nodes," *T-Comm*, 2026, vol. 20, no.4, pp. 33-40. (in Russian)

Введение

Создание отдельной физической сети связи, приобретение оборудования, его установка и обслуживание требуют больших затрат. Поэтому решения на основе цифровых автоматических станций IP-PBX через существующий публичный Интернет становятся перспективным для многих корпораций. Фактически при передаче трафика организуются фиксированные виртуальные каналы связи. При включении в сеть корпорации конкретного офиса необходимо решать задачу выбора пропускной способности. Совместная передача речевого (голосового) трафика и трафика данных (например, трафика документооборота) характеризуется рядом особенностей, которые должны учитываться при расчетах арендуемой скорости передачи данных.

1 Архитектура и возможности систем IP-PBX

Определим достоинства систем коммутации пакетов IP-PBX по сравнению с цифровыми автоматическими телефонными станциями (АТС) коммутацией каналов.

1. Реализация унифицированных коммуникаций UC.
2. Масштабируемость, то есть встроенная гибкость системы, позволяющая добавлять или удалять пользователей, менять данные об их местоположении без модификации оборудования, что актуально для растущих предприятий.
3. Экономическая эффективность – сокращение расходов на телекоммуникации (особенно на междугородние и международные звонки), за счет использования существующей инфраструктуры сети Интернет.
4. Доступен широкий набор функций, включая сложную маршрутизацию и очередь вызовов, автосекретарь, запись вызовов. Это позволяет улучшить обслуживание клиентов и внутренние коммуникационные процессы.
5. Поддержка удаленных сотрудников и мобильных сотрудников с помощью программных телефонов на компьютерах и мобильных устройствах для бесперебойной связи из любого места с подключением к Интернету.
6. Возможность интеграции с системами управления взаимоотношениями с клиентами (CRM), планирования ресурсов предприятия (ERP) и другим бизнес-программным обеспечением, что оптимизирует рабочие процессы и улучшает доступность данных. Надежные функции безопасности включают шифрование, брандмауэры и безопасную сигнализацию SIP (Session Initiation Protocol). Эти функции защищают конфиденциальную коммуникацию от киберугроз.
7. Веб-интерфейсы администрирования оптимизируют настройку, мониторинг и обслуживание системы.

Рынок «управления вызовами», который включает традиционные и IP-PBX системы, в 2023 г. был оценен в 18,88 млрд долл. Предсказывается, что к 2032 г. он достигнет 48,11 млрд долл. со среднегодовым темпом роста (CAGR) 10,77%. В рамках этого рынка сегмент IP-решений считается самой быстрорастущей категорией. Рост обусловлен растущим спросом на экономичные, гибкие и высококачественные коммуникационные решения, все более широким внедрением технологии 5G и распространенной тенденцией использования личных устройств (BYOD) на рабочих местах [1-7].

Предприятия различных секторов, особенно банковского, финансовых услуг, розничной торговли, электронной коммерции и гостиничного бизнеса, инвестируют в IP-PBX для повышения операционной эффективности. Телекоммуникационная система IP-PBX предоставляет услуги голосовой и мультимедийной связи через сеть передачи данных с использованием интернет-протокола (IP). Она заменяет традиционные системы PBX с коммутацией каналов и временным разделением каналов (TDM), используя сети с коммутацией пакетов и объединяя голосовую связь и передачу данных в единую инфраструктуру.

Такая конвергенция дает значительные преимущества с точки зрения стоимости, масштабируемости, управления и интеграции функций.

Архитектура IP-PBX может быть разбита на несколько ключевых логических компонентов, каждый из которых отвечает за отдельную функцию.

На схеме рис. 1 показано взаимодействие основных компонентов в типичной локальной архитектуре IP-PBX и их подключение к внешним сетям.

Сервер обработки вызовов («мозг») содержит основное программное приложение, которое контролирует все функции системы. Такие как обработка сигналов вызовов, обработка логики маршрутизации вызовов, выполнение плана набора номера, аутентификация пользователей, управление функциями (например, переадресация вызовов). Ключевой протокол – SIP (протокол инициирования сеанса – RFC 3261) для сигнализации.

SIP-транкинг предполагает, что виртуальное соединение предоставляется поставщиком услуг интернет-телефонии (ITSP). Он использует протокол SIP через Интернет для замены физических TDM-транков, тем самым устраняя необходимость в физическом шлюзе.

Медиа-сервер («механизм голосовой почты и конференц-связи») часто является подкомпонентом процессора вызовов, но также может быть отдельным сервером для обеспечения большей масштабируемости. Он выполняет функции обработки или микширования аудиопотоков. А также предоставляет услуги голосовой почты, IVR – интерактивного голосового ответа, управляет очередью вызовов для контакт-центров [2].

2 Варианты и особенности включения узлов фиксированного доступа в пакетные сети

На рис. 2 представлен вариант организации взаимного подключения IP-PBX с использованием ресурсов сетей пакетной коммутации. В качестве объектов исследований представлены подсистемы доступа в пакетную сеть.

Базовая сеть является важным компонентом архитектуры, а не просто каналом передачи данных. Управление качеством обслуживания (QoS) необходимо для приоритизации голосового трафика над пакетами данных, чтобы минимизировать задержку при передаче трафика в виде пакетов, джиттер (колебания задержки) и потерю пакетов, которые напрямую влияют на качество связи [16-20]. Это реализуется с помощью таких механизмов, как DiffServ (дифференцированные услуги) на сетевых коммутаторах и маршрутизаторах.

Логическая архитектура может быть развернута различными способами. Локально, когда все компоненты (серверы и шлюзы) размещаются и управляются в собственном центре обработки данных предприятия. Это обеспечивает максимальный контроль, но требует капиталовложений и наличия собственных специалистов.

Возможно использование хостинга/облачной АТС, когда сервер обработки вызовов и функции размещаются и управляются сторонним поставщиком за пределами предприятия. Предприятию требуются только оконечные устройства и надежное интернет-соединение (SIP-транк). Эта модель часто продается как услуга (UCaaS – Unified Communications as a Service), обычно с абонентской платой, что снижает затраты и управленческие расходы.

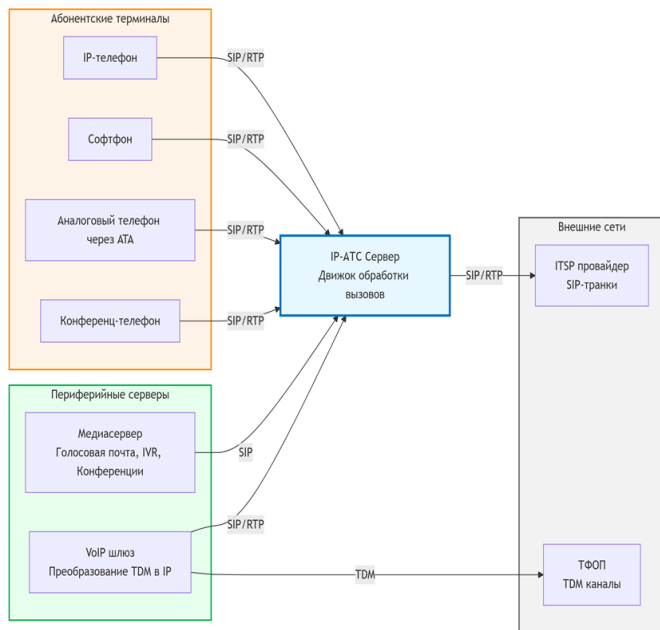


Рис. 1. Архитектура IP-PBX

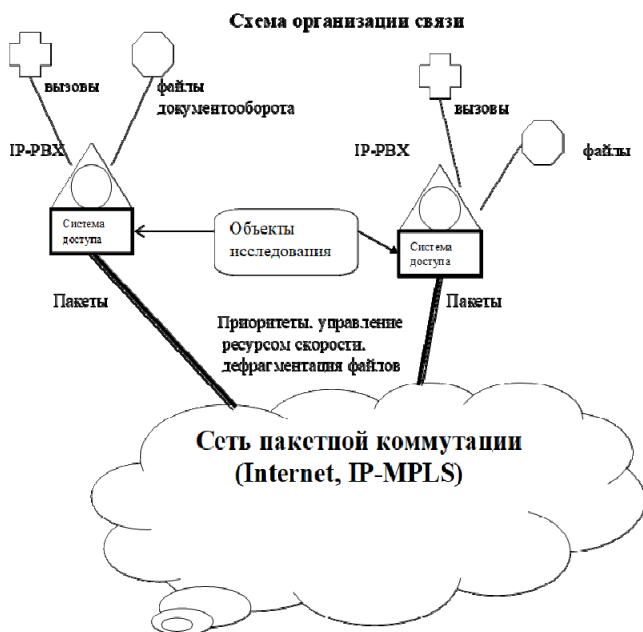


Рис. 2. Взаимное подключение IP-PBX

Возможно сочетание локальных и облачных сервисов. Типичным примером является локальная IP-PBX, подключенная к облачному провайдеру. Архитектура IP-PBX является модульной и построенной на открытых стандартах

Использование методов и математического аппарата теории телетрафика, как одного из ответвлений ТМО, рекомендовано в том случае, когда показатель самоподобия Херста составляет $H = 0,5-0,55$. Это соответствует речевому трафику, создаваемому пользователями с различными оконечными устройствами, чрезвычайно чувствительному к задержкам [18]. Применительно к этому трафику используется аппарат теории телетрафика для часа наибольшей нагрузки [2, 8-10]. На новом этапе развития телекоммуникаций, а именно при переходе к организации виртуальных соединений в начале сессии возможно применение аппарата теории телетрафика.

Для самоподобного трафика данных (различные видеосервисы, передача файлов документооборота) предлагается учитывать, что для описания обслуживания этого трафика применимы методы математического моделирования, причем показатель Херста достигает значений $H = 0,8$. С учетом этого обстоятельства в работах В.Олифер, Н.Олифер обосновано снижение загрузки сетей пакетной коммутации до уровня 30-40% для минимизации задержек и потерь пакетов [2, 6, 9-11]. Такой подход позволяет обеспечить защиту от перегрузок, но предполагает снижение использования ресурса скорости.

Иной подход предлагается реализовать в работах Кауфмана, Робертса, Келли и Росса [12-15], получивший общее название Multi-Rate Erlang loss system. Он позволяет оценить качество передачи и взаимное влияние речи и файлов на магистральных участках сетей пакетной коммутации.

3 Предварительные результаты оценки качества функционирования IP-PBX с полным разделением ресурсов (Complete Partitioning – CP)

По формуле (1) определим среднюю величину скорости передачи речевого трафика (интенсивности трафика, выраженной через скорость)

$$Q_{необх\ реч} = B1 \times Y, \tag{1}$$

где величина $B1$ характеризует скорость для одного однонаправленного соединения с учетом особенностей кодека и используемых протоколов передачи пакетов. Если связь организуется по сети общедоступного Internet с использованием защищенного протокола IPSec используем $B1 = B1\ IPSec$. Если связь организуется по сети технологии MPLS, то $B1 = B1\ MPLS$. Как показали расчеты, всегда имеет место соотношение $B1\ IPSec > B1\ MPLS$; Y – среднее число соединений на участке сети в текущий момент времени.

Оценка необходимой скорости подключения IP-PBX к пакетной сети (иначе – пропускной способности участка доступа) по средней величине $Q_{необх}$, как показано в формуле (1), не учитывает колебаний трафика. Ее использование может привести к просчетам при проектировании (в выделении избыточного, но скорее всего недостаточного ресурса скорости). Предлагается задействовать математический аппарат теории телетрафика для проведения оценок пропускной спо-

способности на участке доступа к ресурсам пакетной сети.

В качестве объекта исследования рассмотрим узел фиксированной связи IP PBX при его включении в сеть пакетной коммутации. Представим его как СМО вида $M/M/V/V$, где величина V обозначает количество виртуальных соединений, которое может быть реализовано на выделенном для этих целей ресурсе скорости Q . Такое представление позволяет использовать первую формулу Эрланга для расчета вероятности отказа в обслуживании вызова P . Отказ в обслуживании наступает, когда полностью использован весь ресурс скорости, доступный для данного вида трафика $Q_{реч}$. Доступное число виртуальных каналов V будем определять по формуле

$$V = Q_{реч} / (2xq), \quad (2)$$

где коэффициент 2 характеризует реализацию двусторонней голосовой связи;

величина q характеризует скорость одного направления передачи речевой информации с учетом характеристик кодеков разного вида, величины накладных расходов в передаваемых пакетах, с учетом особенностей технологий и протоколов пакетной сети.

Величина V может устанавливаться и изменяться в программном обеспечении при настройке оборудования.

Используется одно из базовых положений теории телетрафика о том, что интенсивность нагрузки характеризует среднее число одновременных соединений на участке сети [1, 2]. Можем получить допустимое число пользователей в i -ом офисе как

$$N_{i\text{доп}} = Y_{i\text{доп}} / (y_1 \times k_i), \quad (3)$$

где $Y_{i\text{доп}}$ – допустимая интенсивность нагрузки, определенная по первой формуле Эрланга для заданного значения вероятности потерь вызовов на участке доступа $R_{доп}$ и числа виртуальных каналов;

y_1 – удельная абонентская нагрузка, Эрл;

$N_{i\text{доп}}$ – допустимое число пользователей в i -ом офисе;

k_i – доля вызовов, направляемых/поступающих в/из пакетную/пакетной сети от других офисов.

Возможно изменение порядка расчета в соответствии с целями и задачами. Например, может стоять задача по оценке необходимой пропускной способности для речевого трафика на участке доступа Q при известном числе пользователей и заданном типе кодеков.

Сравнение реализации соединений в пакетных сетях технологии MPLS и IPsec показало, использование технологии MPLS позволяет значительно сэкономить пропускную способность сетей. Например, в расчете, проведенном для кодека G.711, экономия составляет около 19% пропускной способности сети. Аналогичный результат дала оценка пропускной способности на одно речевое соединение для кодеков различного вида. Выявлен недостаток такого сравнения – оно не учитывает характеристики потока вызовов. Поэтому предлагается использовать методы теории массового обслуживания.

Одним из популярных подходов к описанию систем совместной передачи разнородного трафика является многократная модель, которая предполагает, что на равных правах

передаются потоки голоса и файлы. Возможен отказ в передаче файла или в реализации речевого соединения, если не может быть предоставлен необходимый ресурс скорости [12-15].

4 Результаты исследования функционирования IP-PBX как системы с полным объединением ресурсов (Complete Sharing - CS)

При обслуживании VoIP-вызовов классическая модель Эрланга применима по следующим причинам. Голосовые потоки неэластичны. Требуется гарантированная скорость передачи данных (например, 64-88 кбит/с с кодеком G.711). Продолжительность вызовов является случайной, часто подчиняется экспоненциальному закону. Вызов либо проходит с полной скоростью, либо блокируется – нет «частичного» обслуживания.

Однако модель Эрланга не подходит для передачи файлов. Причина – передача файлов – это эластичные потоки. То есть не нужна гарантированная постоянная скорость. Если доступна только часть канала, передача просто замедляется, но продолжается. При передаче файлов пропускная способность делится между разными сессиями (совместное использование процессора, контроль перегрузки TCP).

Перечислим подходящие альтернативы для передачи файлов: $M/G/1$ Processor Sharing (PS), когда файлы пропорционально делят пропускную способность, задержка растет вместе с нагрузкой;

модели потока жидкости, которые рассматривают доступную емкость (пропускную способность) как делимую, со скоростями, динамически корректируемыми;

очередь с эластичным обслуживанием (например, $M/M/1$ -PS или модели на уровне потока, такие как сети Келли).

При описании функционирования узла фиксированного доступа как СМО вида $M/G/1$ было учтено наличие относительных приоритетов при обслуживании пакетов трафика разного типа (исследовалась передача информации на уровне пакетов). Проведенные расчеты позволили оценить совокупное время ожидания начала выдачи голосовых пакетов W_1 и файлов документооборота W_2 . Введен и используется относительный приоритет.

Выполним анализ средней задержки голосового пакета (см. рис. 3).

Эта метрика, скорее всего, представляет собой не время ожидания в очереди (W_1), а сумму времени передачи и ожидания ($W_1 + S_1$, где S_1 – время обслуживания голосового пакета). Она стабильна, так как размер голосового пакета не меняется. Это подтверждает, что основную проблему составляет именно время ожидания в очереди, а не физическая передача.

Проблема – в дисбалансе трафика и алгоритме обслуживания. Резкий рост голосовой нагрузки и наличие больших файловых передач (с фиксированным размером 1 МБ и, как следствие, большим временем обслуживания) создают "эффект блокировки". Долгая передача файла заставляет голосовые пакеты ждать своей очереди, даже при наличии приоритета.

Критический порог системы находится между 600 и 700 пользователями. После 700 пользователей QoS для голосовой связи деградирует катастрофически.

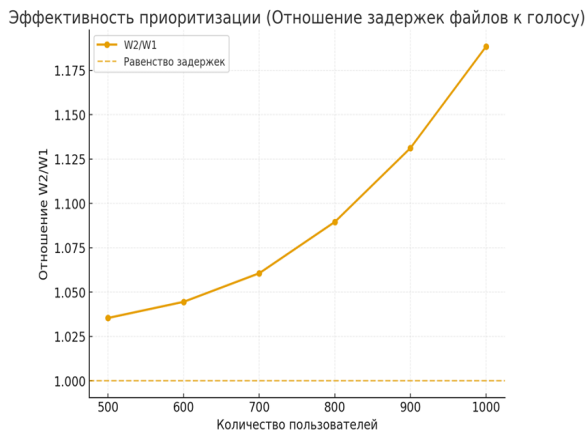


Рис. 3. Оценка эффективности действия относительных приоритетов

Относительный приоритет выполняет свою функцию ($W1 < W2$), но не справляется с компенсацией негативного влияния длинных пакетов файлового трафика на чувствительную речевую очередь.

5 Перспективность использования подхода Round Robin для фрагментации файлов документооборота

Принцип Round Robin является одним из фундаментальных подходов в управлении распределением ресурсов в вычислительных и сетевых системах, особенно когда речь идет о многозадачности и обеспечении справедливого доступа к ограниченным ресурсам. Если говорить об основных принципах и механизмах, то Round Robin (RR) можно представить как кольцевую очередь, в которой каждый элемент – это процесс, запрос на обслуживание. В классическом понимании RR, каждая задача получает фиксированное время на выполнение, после чего она перемещается в конец очереди. Такой подход гарантирует, что ни одно устройство не сможет доминировать в использовании ресурсов, особенно в сетевых системах, где устройства могут иметь различные технические характеристики и скорость работы [4].

Принцип Round Robin в контексте передачи данных нашел применение в системах Wi-Fi последних стандартах и в LTE сетях, где устройства различаются по стандартам и скорости передачи данных. Он позволяет равномерно распределять доступное время и пропускную способность между всеми участниками. Это особенно важно, когда в сети присутствуют как устройства с высокими техническими характеристиками, так и устаревшие, работающие на более низких скоростях. Без механизма справедливого распределения ресурсов такие устройства могут замедлять работу всей системы.

Одним из ключевых аспектов применения RR в сетевых системах является определение оптимального кванта времени (в нашем случае – размер фрагментов файлов). Если квант слишком мал, система будет часто переключаться между устройствами (в нашем случае – между файлами), что приведет к избыточным накладным расходам на управление этими переключениями и, в конечном итоге, может снизить общую эффективность работы. Если квант слишком велик, устройства с более низкими скоростями могут занять канал на длительное время, что ухудшит качество обслуживания

для более производительных устройств. Поэтому важно найти баланс, который обеспечит эффективное распределение ресурсов и минимальные задержки.

Применительно к узлу связи фиксированного доступа предлагается использовать принцип RR в качестве эффективного средства для фрагментации файлов документооборота, что позволит предоставить речевому трафику реальный приоритет. Будут исключаться длительные перерывы в речевой связи, когда идет выдача объемных файлов документооборота.

6 Организация обслуживания разнородного трафика с использованием метода гибкого разделения ресурсов

Исследуемая модель представляет собой более гибкую схему разделения ресурсов доступа IP-PBX.

Общий ресурс скорости доступа C явно разделен на две части ($C = C1 + C2$), но между ними существует взаимодействие (см. рис.4).

Слайс $C1$ предназначен исключительно для трафика реального времени, который обслуживается в режиме с потерями. Если в момент поступления речевой заявки все виртуальные каналы в этом слайсе заняты, заявка не получает немедленного отказа. Действует механизм перенаправления. Вместо отказа, речевая заявка перенаправляется как избыточная во второй слайс ресурсов, предназначенный для файлового трафика. Таким образом, второй слайс $C2$ предназначен для файлового трафика и избыточных речевых заявок, перенаправляемых из первого слайса. Файлы могут ожидать в очереди, речевые сообщения имеют приоритет в обслуживании. Ресурсы второго слайса используются совместно двумя типами трафика, что повышает общую эффективность использования.

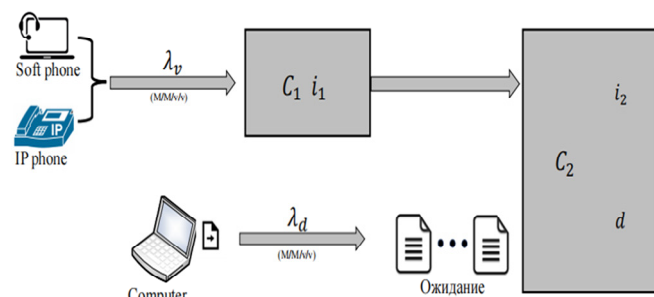


Рис. 4. Иллюстрация гибкого распределения ресурса скорости при передаче разнородного трафика

Достоинством предлагаемой модели организации совместной передачи речи и данных в IP-PBX является то, что негативное влияние трафика документооборота в виде перерывов в связи может испытывать только часть речевых заявок, оказавшихся избыточными для слайса $C1$. Распределение ресурса скорости между слайсами $C1$ и $C2$ в целом статично. Но может быть изменено программным путем с учетом предполагаемого объема поступающего трафика.

В таблице 1 представлены результаты расчетов для двух вариантов. В первом варианте весь доступный ресурс скорости 10 Мбит/с предоставлен для обслуживания разнородного трафика – голос и документооборот – соответственно участок доступа в пакетную сеть рассматривается как система массового обслуживания вида $M/G/1$. Для пакетов голосового

го трафика и трафика документооборота введен и используется относительный приоритет. Оценка проведена для уровня передачи пакетов и учитывает наличие относительного приоритета для пакетов передачи речи.

Второй вариант соответствует исследуемой математической модели, представленной на рис. 4. А именно заявки на обслуживание (вызовы, файлы) могут передаваться при перегрузках на обслуживание из первого потока (только речевые вызовы) во второй поток (передача разнородного трафика с относительными приоритетами). Совокупный ресурс скорости во втором варианте также равен 10 Мбит/с, который распределен в данном примере как (5+5) Мбит/с. При проведении расчетов было сделано предположение, что 85% трафика замыкается внутри данной PBX или иначе – внутри корпоративной структуры, и только 15% трафика поступает на участок PBX- пакетная сеть.

Таблица 1

Результаты расчетов характеристик функционирования участка доступа при передаче разнородного трафика

Варианты / Число пользователей Users	1 nap / 1000 Users	2 nap / 1000 Users
Число вызовов на одного пользователя Arrival rate for voice calls (c)	4	4
Длительность одного голосового соединения Voice call duration (x1, minutes)	3	3
Число файлов документооборота на одного пользователя Arrival rate for file transfer (f)	1	1
Размер файла документооборота File size (s, Mbytes)	1	1
Доступный ресурс скорости Reserved bandwidth (C, Mbps)	10	5
Вероятность передачи избыточных вызовов от первого потока на второй поток, обслуживающий разнородный трафик Blocking probability (Bp)	0.00	0.174
Общее число речевых вызовов Number of voice call requests (Pv)	600	305
Общее число файлов Number of file transfer requests (Pf)	150	150
Общее число заявок на обслуживание Total number of requests (P)	750	255
Время передачи одного файла Service time to transmit one file (s)	0.8	1.60
Нагрузка передачи файлов File transfer load (L2)	0.0333	0.0667
Нагрузка передачи речевого трафика Voice call load (L1)	0.528	0.1837
Общая нагрузка Total load (L)	0.5613	0.2504
Коэффициент вариации Service time variation coefficient	1.2225	1.937
Общее время ожидания передачи речевых пакетов Average queuing time for voice requests (W1, seconds)	201.3842	40.5844
Совокупное время ожидания начала передачи файла документооборота Average queuing time for file transfer requests (W2, seconds)	459.0825	54.3422
Время ожидания начала передачи файла латенс waiting for one file transfer (ms)	3000.5499	360.9478
Вероятность того, что речевой пакет будет потерян (замешет посылку) во время передачи файлов документооборота (Pgolos)	0.02948	0.00207

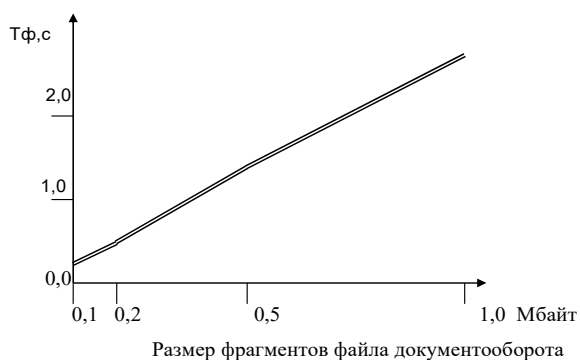


Рис. 5. Зависимость продолжительности перерывов в речевой связи при передаче файлов документооборота от размера передаваемых фрагментов

Анализ полученных результатов показывает, что использование относительных приоритетов не существенно влияет на продолжительность ожидания начала выдачи пакетов. В данном случае при переходе ко второму варианту несколько уменьшается время передачи одного файла, также как и время ожидания начала выдачи файла. Как показывают расчеты, проблемными становятся прерывания передачи речевых пакетов во время выдачи файлов документооборота. Наилучшую защиту от этого явления дает передача файлов в виде фрагментов. Минимальный размер таких фрагментов составляет 0,1 Мбайт с учетом того, что в PBX могут использоваться кодеки разного типа, и часто используются кодеки вида G.711. То есть дополнительно разбивать на фрагменты речевые пакеты не будем – речь идет только о файлах документооборота. На рис. 5 показана зависимость продолжительности перерывов в речевой связи Тф при передаче файлов документооборота от размера передаваемых фрагментов

В дополнение – расчеты для обслуживания разнородного трафика с использованием метода гибкого разделения ресурсов показали следующее.

При числе пользователей $n = 500$ вероятность прерывания голосовых соединений составляет 0,00371. Следует подчеркнуть, что перерывы в связи в данном случае затронут только 43 голосовых соединений, то есть менее 14% от общего числа голосовых заявок.

Проведенные расчеты подтверждают перспективность разделения ресурса скорости на участке доступа PBX к ресурсам сети Internet или IP-MPLS на два потока – только голосовые заявки и смешанный трафик из части голосовых заявок (избыточных для первого потока) и файлов документооборота.

Заключение

1. Требования к полосе пропускания определяют ресурс скорости, который необходимо арендовать у оператора сети пакетной коммутации. Начальный этап проектирования особенно важен, поскольку просчеты и ошибки могут в дальнейшем приводить к необходимости аренды дополнительных ресурсов скорости.

2. При проведении расчетов число виртуальных каналов V вводит в формуле (2) коэффициент 2, который отображает необходимость реализации двусторонней голосовой связи (аналогично – видео конференцсвязь). Углублённое изучение проблемы показало наличие общей системной ошибки при проектировании пакетных сетей, когда особенности двухсторонней связи не учитываются. Негативное влияние этого фактора отчасти нивелируется, если общая загрузка линии доступа между IP PBX и пакетной сетью не превышает 30-40%.

3. Разработана программа расчета характеристик СМО вида M/G/1, позволяющая оценить среднее время ожидания передачи пакетов в двух потоках (голосовом и документооборота), с учетом относительных приоритетов, которые характеризуют потоки трафиков в IP-сетях. Актуальность разработки программы, учитывающей влияние относительных приоритетов на участке доступа IP-PBX в сети технологии IP-MPLS, определяется перспективностью внедрения этой технологии как универсального транспортного средства

и такой ее особенностью – пакеты в сети IP-MPLS передаются в неизменном виде (добавляются/изымаются только метки), поэтому реализация достоинств относительного приоритета для пакетов речевого трафика актуальна, но возможна только на исследуемом участке доступа в пакетную сеть.

4. Предложен подход к гибкому разделению ресурса доступа IP-PBX для повышения эффективности его использования. Повышение качества передачи речевого трафика предлагается обеспечивать: гибким разделением ресурса скорости между слайсами; использованием принципа Round Robin для фрагментации файлов документооборота.

Литература

1. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.
2. Степанова И.В. Управление и мониторинг в телекоммуникационных сетях // М.: ЭБС МТУСИ. 2025. 112 с.
3. Степанова И.В., Кнаж Нума. Особенности организации сетей связи с привлечением технологии MPLS // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №5. С. 63-68.
4. Степанова И.В., Цыганков Н.А., Смирнов А.П. Тенденции развития мобильной связи в Российской Федерации для устранения цифрового неравенства // I-Methods. 2025. Том 17. №2. С. 49-55.
5. UC Today. (2025). The Unified Communications Market Boom: Stats, Trends, and Leading Vendors.
6. Vonage. What Is IP PBX? Definition, Importance, Features and More). 2025. URL: <https://www.vonage.com>.
7. Закроева М.В., Макаренко Я.Р., Колодезная Г.В. Ликвидация цифрового неравенства. проблемы и перспективы // Инновационные инфокоммуникации XXI века. Хабаровск. 2024. С. 124-128.
8. Nouta Knaj. Using MPLS Technology to solve BGP black hole problem. SYNCHROINFO JOURNAL. Vol. 8, No. 3. 2022, pp. 7-11.
9. Ross K.W. Multiservice Loss Models for Broadband Telecommunication Networks. Springer, 1995. 343 p.
10. Market Research Future. Call Control (PBX-IP PBX) Market Analysis, Size, Growth and Forecast – 2032-2025. URL: <https://www.marketresearchfuture.com>.
11. MarkWide Research. IP PBX Market 2025-2034: Size, Share, Growth. 2025. URL: <https://markwideresearch.com>.
12. Research and Markets. (2025). IP PBX Market Size, Competitors, Trends & Forecast to 2030-2025. URL: <https://www.researchandmarkets.com>.
13. SNS Insider. Call Control (PBX-IP PBX) Market Size, Share Forecast 2032]. 2024. URL: <https://www.snsinsider.com>.
14. Shoshan R., Dahan Y., Erez D. B., Confino-Cohen R. From Conflict to Care - Telemedicine Utilization During Wartime: A Retrospective Cohort Study. (This indicates the use of digital communication, which often relies on IP-based systems). 2025.
15. TAdviser. Unified Communications Global. (This provides data on the broader UC market which heavily influences IP-PBX adoption). 2025.
16. Maslov A. A., Sebekin G. V., Stepanov S. N. et al. Model of processes for joint maintenance of real-time multiservice traffic and elastic data traffic in a network of low-power mobile subscriber terminals based on high-throughput satellites // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Vol. 18, No. 3, pp. 41-49. DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-3-41-49. EDN UFIBHG.
17. Маслов А. А., Себекин Г. В., Степанов М. С. и др. Моделирование процессов обслуживания трафика реального времени в мультисервисных широкополосных сетях спутниковой связи на базе космических аппаратов на низких и средних круговых орбитах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Т. 19, № 12. С. 4-15. DOI 10.36724/2072-8735-2025-19-12-4-15. EDN DVDQIJ.
18. Степанова И. В., Кнаж Н. Взаимное влияние передачи речи и данных в сетях пакетной коммутации // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2025. Т. 17, № 4. С. 47-53. DOI 10.36724/2409-5419-2025-17-4-47-53. EDN RXFPWC.
19. Степанова И. В., Кнаж Н. Проблематика организации фиксированного мобильного доступа в корпоративных сетях связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2024. Т. 16, № 2. С. 13-19. DOI 10.36724/2409-5419-2024-16-2-13-19. EDN GWQNHM.
20. Степанова И. В., Патенченко Е. К., Кнаж Н. Оценка факторов влияния на пропускную способность сетей пакетной коммутации // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15, № 5. С. 18-27. DOI 10.36724/2409-5419-2023-15-5-18-27. EDN ZLTFMJ.

DEVELOPMENT OF APPROACHES TO THE EFFICIENT USE OF THE BANDWIDTH OF FIXED ACCESS COMMUNICATION NODES

Sergey N. Stepanov, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia, s.n.stepanov@mtuci.ru
Irina V. Stepanova, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia, w51Siv@mail.ru
Knazh Numa, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

Abstract

Internet Protocol Private Branch Exchange (IP-PBX) systems significantly reduce telecommunications costs by providing connectivity over existing data networks. Beyond simple cost savings, these systems provide the foundation for the development of unified communications (UC). For corporate communication networks, the combined transmission of voice information and document files is essential. The requirement for a reliable assessment of the required bandwidth of the access section of the packet network remains significant. Flexible mechanisms for responding to changes in traffic volume and service offerings are essential. Voice transmission remains one of the most in-demand services in modern communication networks. Moreover, the most common phenomenon in packet-switched networks is the combined transmission of voice and data. The authors define the research objective as assessing the impact of document traffic on the quality of voice traffic transmission in corporate packet-switched networks. Resource leasing in various network sections should be carried out taking into account the required bandwidth and the characteristics of information transmission. The most popular protocols are Internet

Protocol Security (IPsec) based on the public Internet and Multi Protocol Label Switching (MPLS). This article presents an approach to estimating delays in the transmission of different types of packets (voice and data) at a fixed-line communications node, represented by an M/G/1 queuing system. The possibilities and prospects for estimating the required data transfer rate using telecom traffic theory methods are discussed, taking into account the relative priorities for different packet types. Recommendations are given for minimizing interruptions in voice traffic transmission by splitting document files into smaller fragments.

Keywords: Corporate communication networks, Data packets, Relative priorities, Queueing system, Bandwidth, File fragmentation, Internet Protocol, Multi Protocol Label Switching technology.

References

- [1] S.N. Stepanov, "Teletraffic Theory: Concepts, Models, and Applications," Moscow: Goryachaya Liniya – Telecom, 2015. 868 pl.
- [2] I.V. Stepanova, "Management and Monitoring in Tele-communication Networks," Moscow: EBS MTUCI. 2025. 112 p.
- [3] I.V. Stepanova, Numa Knaz, "Features of Organizing Communication Networks Using MPLS Technology," T-Comm. 2022. Vol. 16. No. 5, pp. 63-68.
- [4] I.V. Stepanova, N.A. Tsygankov, A.P. Smirnov, "Trends in the development of mobile communications in the Russian Federation for the elimination of digital inequality," 2025. Vol. 17. No.2, pp. 49-55.
- [5] UC Today. The Unified Communications Market Boom: Stats, Trends, and Leading Vendors. 2025.
- [6] Vonage. What Is IP PBX? Definition, Importance, Features and More). 2025. URL: <https://www.vonage.com>
- [7] M.V. Zakrieva, Ya.R. Makarenko, G.V. Kolodeznaya, "Elimination of digital inequality. Problems and Perspectives," *Innovative Infocommunications of the XXI Century*. Khabarovsk. 2024, pp. 124-128.
- [8] Nouma Knaj, "Using MPLS Technology to solve BGP black hole problem," *Synchroinfo journal*. Vol. 8, No. 3 (2022), pp. 7-11.
- [9] K. W. Ross, "Multiservice Loss Models for Broadband Tele-communication Networks," Springer, 1995. 343 p.
- [10] Market Research Future. Call Control (PBX-IP PBX) Market Analysis, Size, Growth and Forecast - 2032. 2025. URL: <https://www.marketresearchfuture.com>
- [11] MarkWide Research. IP PBX Market 2025-2034: Size, Share, Growth. 2025. URL: <https://markwideresearch.com>
- [12] Research and Markets. IP PBX Market Size, Competitors, Trends & Forecast to 2030. 2025. URL: <https://www.researchandmarkets.com>
- [13] SNS Insider. Call Control (PBX-IP PBX) Market Size, Share Forecast 2032. 2024. URL: <https://www.snsinsider.com>
- [14] R. Shoshan, Y. Dahan, D. B. Erez, R. Confino-Cohen, "From Conflict to Care – Telemedicine Utilization During Wartime: A Retrospective Cohort Study. (This indicates the use of digital communication, which often relies on IP-based systems). 2025.
- [15] TAdviser. Unified Communications Global. (This provides data on the broader UC market which heavily influences IP-PBX adoption). 2025.
- [16] A. A. Maslov, G. V. Sebekin, S. N. Stepanov et al., "Model of processes for joint maintenance of real-time multi-service traffic and elastic data traffic in a network of low-power mobile subscriber terminals based on high-throughput satellites," *T-Comm*. 2024. Vol. 18, No. 3, pp. 41-49. DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-3-41-49.
- [17] A.A. Maslov, G.V. Sebekin, M.S. Stepanov, S.N. Stepanov, A.O. Shchurkov, A.P. Vasiliev, "Modeling of real-time traffic service processes in multi-service broadband satellite communications networks based on spacecraft at low and medium circular orbits," *T-Comm*, 2025, vol. 19, no. 12, pp. 4-15.
- [18] I.V. Stepanova, Knazh Numa, "Mutual influence of speech and data transmission in packet switching networks," *H&ES Reserch*. 2025. Vol. 17. No. 4, pp. 4753. doi: 10.36724/2409-5419-2025-17-4-47-53.
- [19] Stepanova I.V., Knaj Nouma, "Building a combined code based on turbo code with additional bit encoding," *H&ES Reserch*. 2024. Vol. 16. No. 2, pp. 13-19. doi: 10.36724/2409-5419-2024-16-2-13-19.
- [20] Stepanova I.V., Patenchenkova E.K., Knazh Numa, "Influence factors on the packet switching networks capacity," *H&ES Reserch*. 2023. Vol. 15. No. 5, pp. 18-27. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-5-18-27.

Information about authors:

Sergey N. Stepanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, MTUCI, Moscow, Russia

Irina V. Stepanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, MTUCI, Moscow, Russia

Knazh Numa, Postgraduate Student (Syrian Arab Republic), MTUCI, Moscow, Russia