

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.395.7:004.724

ИНТЕРНЕТ-ТЕЛЕФОНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

В.И. Нейман, главный научный сотрудник ИППИ РАН им. А.А. Харкевича, д.т.н.
Д.А. Селезнев, аспирант МТУСИ

Наиболее широко известной и признанной услугой сети Интернет является электронная почта. Но наряду с ней приблизительно с 1998 г. начала развиваться техника пакетной передачи речи. С одной стороны, это связано с тем, что из-за повсеместной доступности Сети появилась возможность непосредственной связи ее пользователей между собой, с другой – из-за повышения мощности вычислительных средств возникла техника цифровой обработки речи. В результате стали осуществимы в реальном времени сложные процессы кодирования и декодирования речевых сигналов и их передачи в форме пакетов. Первые системы Интернет-телефонии рассматривались с позиции экономии затрат на оплату междугородной телефонной связи. Однако традиционные операторы междугородной телефонной связи почувствовали угрозу и стали изыскивать пути снижения тарифов на установление традиционных разговорных соединений. К тому же сегодня качество передачи речи в цифровой коммутируемой телефонной сети общего пользования выше качества, предлагаемого существующими средствами Интернет-телефонии [1]. Поэтому теперь она рассматривается уже не как технология, конкурирующая с традиционными услугами связи, а как средство для создания новых услуг.

Сегодня можно просто щелкнуть "мышью" вместо того, чтобы набрать номер при необходимости телефонного соединения или подключения к разговору третьего участника. Среди других услуг, которые могут привлечь внимание пользователей – предоставление доступа для телефонных линий, несущих срочные дискретные сообщения; интерактивный обмен текстами между пользователями компьютера и сотового телефона и даже отслеживание местоположения сотового телефона по карте, отображаемой на экране компьютера. Последние из перечисленных возможностей связаны с использованием сотовых телефонов, распространение которых привело к коренным переменам в структуре сетей телефонной связи. В настоящее время число мобильных телефонов в мире уже существенно превысило число стационарных телефонных аппаратов. Характерно, что и само появление сотовых телефонов связано с прогрессом вычислительной техники и цифровой обработки речевых сигналов.

В ходе дальнейшего развития техники стало понятно, что объединение сетей и услуг действительно выгодно абонентам. После того, как сети связи третьего поколения (сети, включающие мобильные сети, или сети 3G) стали коммерческой реальностью, развитие пошло в направлении создания общей инфраструктуры на основе протокола Интернет. Это дало возможность мобильным телефонам пользователям, как и главным ЭВМ, соединяться с Интернетом. Но при таком сценарии инфраструктура сетевых операторов превращается в простое средство передачи разрядов. Создавшееся положение породило проект партнерства третьего поколения 3GPP (3 Generation Partnership Project), который закрепил соглашение между органами стандартизации в области связи, поддерживающее поставщиками услуг связи и производителями оборудования. Согласно этому проекту, а также европейскому проекту TISPAN, была предложена разработка подсистемы IP-мультимедиа IMS (IP Multimedia Subsystem), которая представляет собой платформу услуг, решающую задачу возвращения оператору его главной роли в предоставлении услуг.

Прогресс техники сотовой связи. Одновременно с количественным развитием сетей и средств беспроводного доступа к услугам телефонной связи происходит также их качественное развитие. Широко распространенная в настоящее время система мобильной связи GSM работает по принципу установления соединений "от точки до точки" с предоставлением канала с частотным и временным разделением. Однако уже во многих странах на смену этой системе приходит система общей пакетной радиосвязи GPRS (General Packet Radio Service) (рис. 1). Левая половина рисунка иллюстрирует систему беспроводного доступа в виде мобильного аппарата МА, который связывается по радиоканалу (через радиointерфейс) с базовой станцией БС. На рисунке показана вся подсистема базовой станции ПБС, в которую входят одна или несколько базовых станций и контроллер базовых станций. Правая часть рисунка представляет узел поддержки пакетных радиослужб УППРУ (по-английски SGSN – Serving GPRS Support Node). В этом узле сосредоточены функции контроля движения и безопасности мобильного аппарата. Далее через узел УППРУ и шлюз поддержки услуг пакетной радиосвязи ШПУПР (в англоязычной литературе GGSN, т.е. Gateway GPRS Support Node) происходит обмен пакетами данных между системой общей пакетной радиослужбы и проводной сетью пакетной передачи СПП (например, Интернет или X.25). Кроме того, в сети предусматривается регистр местных абонентов РМА (по-английски HLR – Home Location Register), в котором постоянно хранится информация о зарегистрированных местных абонентах.

Необходимо подчеркнуть, что в сети общей пакетной радиослужбы передача между мобильными аппаратами и обслуживающим его узлом с точки зрения системы базовой станции прозрачна. Иначе говоря, на базовой станции запись информации, относящейся к мобильному аппарату, не производится. Она хранится в узле поддержки радиослужбы РППРУ. Эти данные в системе GPRS можно разделить на информацию, относящуюся к управлению движением, и информацию, относящуюся к протоколу пакета данных. Информация, относящаяся к управлению движением, говорит о том, где расположен мобильный аппарат и в каком он состоянии. Возможные состояния мобильного аппарата, которые регистрируются в системе GPRS, это – состояние свободное, состояние готовности (standby) и рабочее. В свободном состоянии мобильный аппарат пассивен и может принимать только циркулярные сигналы базовой станции, но

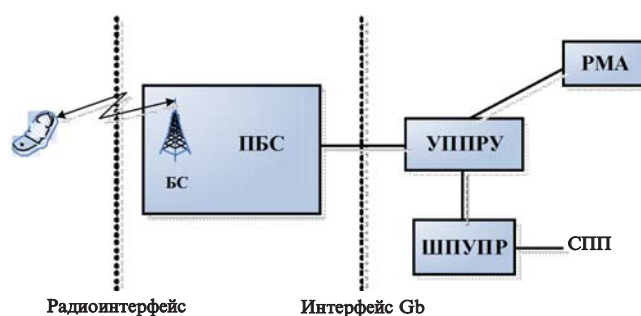


Рис. 1

не пакеты "из конца в конец", передаваемые между сетью и мобильным аппаратом. В рабочем состоянии мобильный аппарат может принимать пакеты без процедур вызова. Из рабочего состояния мобильный аппарат переходит в состояние готовности после некоторого времени пассивного состояния. Из состояния готовности мобильный аппарат возвращается в рабочее состояние после вызова из сети или при необходимости передачи пакета. Переход между свободным и активным состоянием происходит при помощи специальных процедур присоединения к системе GPRS или отсоединения от нее. Если мобильный аппарат в рабочем состоянии, сеть знает его местоположение с точностью до соты. Каждый пакет маршрутизируется к мобильному аппарату индивидуально на основании указателя соты, включаемого в пакет в узле обслуживания с учетом требуемой базовой станции. Таким образом, информация пользователя передается между сетью и мобильным аппаратом без соединения между системой базовых станций и обслуживающим узлом УППРУ.

На рис. 2 приведена новая схема системы мобильной связи третьего поколения (3G), основанной на технике широкополосного многостанционного доступа с кодовым разделением WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Система мобильной связи третьего поколения в известном смысле объединяет функции пакетной передачи данных и систему связи с коммутацией каналов. Здесь узлу обслуживания УППРУ сети GPRS соответствует узел УППРУ-3G и шлюз пакетной передачи (ШПУПР), который ожидает соединения с другими пакетными сетями. Обозначение 3G указывает на специфические средства сетей обслуживания третьего поколения. Узел коммутации мобильных услуг УКМУ-3G ожидает маршрутизации нагрузки с коммутацией каналов по коммутируемой телефонной сети общего пользования (КТСОП) или цифровой сети интегрального обслуживания (ЦИО). Сеть может быть реализована и без узла коммутации мобильных услуг УКМУ-3G. Информация об абоненте мобильного аппарата постоянно хранится в регистре местных абонентов РМА и временно – в регистре абонентов-посетителей (РАП), расположенного, например, вместе с узлом коммутации мобильных услуг УКМУ или в узле УППРУ. В подсистему радиосети ПРС входит контроллер радиосети и, по крайней мере, одна базовая станция БС. Работа всей сети контролируется системой эксплуатации и технического обслуживания (ЭТУ).

В мобильных системах связи третьего поколения подсистема радиосети должна иметь информацию относительно мобильных аппаратов, которые будут обслуживаться через радиointерфейс. Это связано с тем, что подсистема радиосети выделяет ресурсы для мобильных абонентов и может объединить в радиointерфейсе соединения как с коммутацией каналов, так и с коммутацией пакетов с применением того же расширенного кода WCDMA. Необходимо, чтобы соединение через интерфейс Iu между радиосетью и соединительной линией учитывало упомянутую возможность объединения коммутации пакетов с коммутацией каналов.

Задачи управления установлением соединений. Общий принцип действия Интернет-телефонии состоит в передаче аналогового речевого сигнала от телефонного аппарата или учрежденческой АТС в маршрутизатор для сжатия и преобразования речевого сигнала в пакеты данных. Эти пакеты передаются по сети Интернет в удаленный маршрутизатор. Последний преобразует пакеты данных обратно в речевой сигнал, который и передается в телефонный аппарат или на УАТС. В соответствии с такой схемой, описанной, в частности, в рекомендациях МСЭ Н.323/Н.248, требуется выполнение достаточно сложных преобразований между техникой Интернет-телефонии и коммутируемой телефонной сетью общего пользования. Одним из путей преодоления возникших трудностей, предпринятых группой инженерной поддержки Интернета IETF (Internet Engineering Task Force), стала разработка

протокола запуска соединения SIP (Session Initiation Protocol) [2, 3]. Он применим для интегрированной среды Интернета и коммутируемой телефонной сети общего пользования.

SIP относится к протоколам прикладного уровня семиуровневой эталонной модели ВОС МОС как структура протокола HTTP типа "клиент-сервер". При обработке пакетов этого протокола команды и состояния могут передаваться в виде чистого текста посредством считывания данных пакетов HTTP. Поэтому протокол SIP очень подходит для архитектуры передачи по широкомасштабной информационно-вычислительной сети. В его структуре должен быть сформирован, по крайней мере, один сервер соединений SIP в дополнение к агентам пользователей. Сервер соединений SIP может работать как сервер-представитель (proxy-server), сервер изменения направления (redirect server), сервер регистрации (registry server), сервер речевой почты (voice mail server), и др. Сервер соединений функционально является интегрированным программным обеспечением и может быть соединен с существующей коммутируемой сетью общего пользования, сетью Интернет-телефонии и т.п.

Протоколы H.323 и SIP во многом схожи. Оба они поддерживают как двухстороннюю, так и многостороннюю связь. Протоколы обеспечивают возможность передачи мультимедийных данных по протоколу реального времени RTP (Real Time Protocol) и родственному ему управляющему транспортному протоколу реального времени RTCP (Real-time Transport Control Protocol). Последний выполняет функции поддержки обратной связи, синхронизации, обеспечения пользовательского интерфейса, но не управляет передачей данных. Вместе с тем протоколы H.323 и SIP резко различаются концепциями и основополагающими принципами. H.323 довольно тяжеловесен. Его описание занимает 1400 страниц и содержит целый стек протоколов, точно регламентирующих все процедуры. Это упрощает взаимодействие существующих сетей, но вызывает затруднения при адаптации новых применений. Что же касается протокола SIP, то это типичный Интернет-протокол, работа которого основана на обмене короткими тестовыми строками. Его описание занимает гораздо меньший объем (250 страниц), и он хорошо взаимодействует с другими протоколами.

Строго говоря, протокол SIP тоже определяет многоуровневый стек, который включает сетевой уровень, транспортный уровень, уровень транзакций, необязательный уровень диалога и собственно прикладной уровень, или уровень услуги. Однако эти уровни достаточно просты по сравнению с иерархией протокола H.323. Так, сетевой уровень протокола SIP обеспечивает связь и взаимодействие с соответствующим протоколом сети Интернет (IP), чтобы каждый элемент протокола SIP связывался по Интернету. Транспортный уровень протокола SIP определяет, как клиент посылает запросы и принимает ответы и как сервер принимает запросы и посылает ответы по сети. Сервер протокола SIP представляет собой сетевой элемент, принимающий запросы, чтобы обслужить их, и посылает обратно ответы на эти запросы. Транспортный уровень ответствен также за формирование сообщений SIP и их передачу по сети. Следующим уровнем протокола SIP является уровень транзакций. Транзакцией называется запрос, посылаемый уровнем транзакций клиента (с помощью транспортного уровня) уровню транзакций сервера вместе со всеми ответами на запросы, посланные уровнем транзакций сервера, обратно клиенту. Уровень транзакций ответствен за согласование последовательности сообщений и за повторную передачу и фильтрацию дублирующих сообщений протокола SIP при ненадежности транспортного уровня. В любой задаче, выполняемой клиентом агента пользователя, применяется последовательность транзакций. Уровень, находящийся над уровнем транзакций, – это пользователь транзакцией, или уровень услуг. Иначе говоря, это приложение, запускаемое на самом верхнем уровне стека

протокола SIP, который обеспечивает конкретную функцию элемента.

Между уровнем услуг и уровнем транзакций может существовать необязательный уровень диалога. Диалог по протоколу SIP идентифицирует набор соответствующих транзакций. Например, при стандартном телефонном соединении двумя транзакциями, относящимися к одному диалогу по протоколу SIP, являются установка соединения и разъединение. Уровень диалога ответствен за согласование последовательностей транзакций и управление при их неполноте. Элементы протокола SIP посылают запросы и ответы другим элементам SIP в форме сообщений. Эти сообщения содержат обширную информацию, касающуюся таких деталей, как адреса источников, адреса назначения, подробности маршрутов, указатели соединений, последовательные номера, и другие сведения относительно работы протокола. Формат сообщений SIP обладает значительной гибкостью в том смысле, что информация в заголовке может быть составлена и упорядочена внутри сообщения, и возможна ситуация, когда сообщения логически эквивалентны, тогда как синтаксически они различны. Например, протокол SIP не указывает для многих заголовков порядок, в котором они должны появляться в сообщении. Кроме того, заголовки SIP обычно нейтральны, и стеки протокола от разных поставщиков могут строить сообщения различными способами. Однако важно, что все стеки протокола SIP совместимы друг с другом.

Декодирование сообщений SIP выполняется грамматическим анализатором, который является интегральной составляющей стека протокола SIP. Он изучает сообщение и извлекает информацию, относящуюся к конкретному уровню. Вследствие различия путей, по которым может быть получено сообщение SIP, передающее одну и ту же информацию, грамматический анализатор имеет возможность выделять информацию заголовка, данные о параметрах, и т.п., независимо от формирования сообщения. Например, грамматический анализатор может копировать печатные знаки верхнего и нижнего регистра, варианты выделения заголовка, печатные знаки в строке, пробелы, знаки препинания, знаки в таблицах, и т.п. Таким образом, грамматический анализатор обеспечивает функции комплексного анализа. Стеки протокола SIP обычно представляются как общие готовые компоненты и реализуют полную спецификацию протокола SIP, делая их пригодными для использования с любым типом элемента SIP.

Каждый тип элементов протокола SIP представляет разные степени функциональной сложности, и количество сообщений, обрабатываемых каждым типом элемента, варьируется. Например, компоненты агента пользователя SIP и серверы агента пользователя могут выполнять сложные задачи обработки и связи, например, при установке соединения, хотя число сообщений, обрабатываемых клиентом агента пользователя, обычно сравнительно невелико. Так, сервер агента пользователя может только обрабатывать сообщения в связи с запросами на установление соединений, поступающих от клиента. Если соединение установлено и никаких изменений в его параметрах не произошло, клиент или сервер агента пользователя не будут обрабатывать дальнейшие сообщения до тех пор, пока соединение не завершится. С другой стороны, иные элементы (такие, как серверы изменения направления протокола SIP) выполняют более простые задачи обработки, но принимают значительно большее количество сообщений. Например, сервер изменения направления протокола SIP выполняет сравнительно простую задачу регистрации отображения между адресом источника SIP и адресом IP, которого адрес источника SIP может достичь. Это фундаментальная задача в сети SIP, так как серверы изменения направления используются представителями SIP, чтобы получить IP-адрес аппарата пользователя для маршрутизации соединения. Это важно, в частности, в случаях, когда доступ к сети получают мобильные клиенты, так как обычно адреса IP назначаются

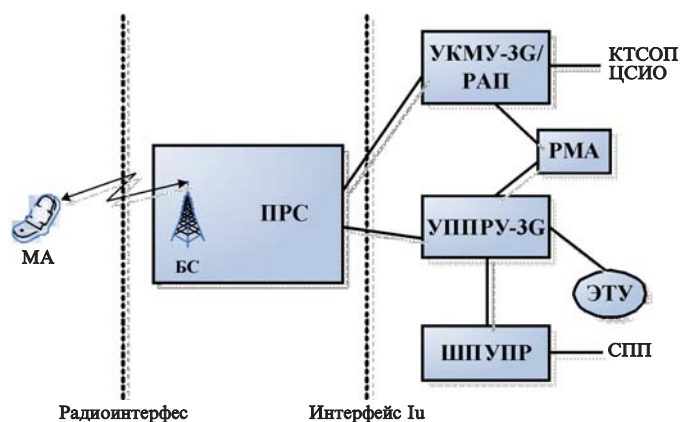


Рис. 2

динамически и могут часто меняться. Кроме того, для гарантии, что отображаемая информация не устарела, каждый мобильный клиент обычно посылает с частыми интервалами сообщение REGISTER. Из изложенного ясно, что число сообщений, которые должны обрабатываться сервером изменения направления, существенно больше, чем число сообщений, обрабатываемых клиентом агента пользователя. Например, серверы текущей регистрации могут обрабатывать от 200 до 1000 операций регистрации в секунду.

Задачи кодирования речевых сигналов. Цель кодирования речи – получение компактного цифрового описания речевого сигнала в форме, которая может быть использована для эффективной записи и передачи его в виде кодированного (или сжатого) сигнала, причем главной целью является поддержание качества восприятия при использовании минимально возможного количества разрядов. При этом разговорный сигнал должен эффективно уплотняться (мультиплексироваться), что приводит к экономии затрат при сохранении разборчивости речи. На протяжении ряда лет было разработано много различных алгоритмов кодирования речи, каждый из которых использовал свои специфические методы. Их грубо можно разбить на четыре главных класса: кодирование формы сигнала, вокодеры, гибридные схемы и кодирование в частотной области. Если кодеры формы сигнала описывают его изменение во времени, то вокодеры основаны на учете модели речеобразования и соответственно кодируют параметры этой модели, а не описание разговорного сигнала во времени. В гибридных кодерах используются комбинации формы сигнала во времени и техники вокодера, что приводит к более эффективному кодированию. Кодирование в частотной области состоит в преобразовании описания сигнала во времени в описание частотных поддиапазонов с последующим отдельным кодированием каждого поддиапазона. В некоторых кодерах используются также модели уха человека, что позволяет добиться дальнейшего повышения эффективности кодирования.

Каждая разработка кодера характеризуется специфическими характеристиками, и алгоритмы выбираются в зависимости от конкретных целей разработки. Выбор кодера для конкретных применений – не всегда простое решение, оно требует компромисса между рядом характеристик, к которым относятся:

- скорость передачи разрядов, и, соответственно, требуемый объем памяти или требуемая полоса передачи по сети;
- принятое качество, т.е. уровень качества, приемлемый для пользователей с учетом требований к конкретной аппаратуре с точки зрения ее стоимости;
- задержки, т.е. ограничения на задержку в одном направлении передачи ("от рта говорящего до уха слушающего"); такое требование существенно, если целью является разговор в реальном времени;

- учет потерь в канале; если в сети возможно появление ошибок (например, из-за замираний при радиопередаче или потерь пакетов), то может потребоваться кодек (а конкретнее, алгоритм декодирования), включающий механизм скрытия (или минимизации влияния) таких ошибок;

- сложность/интенсивность вычислений; аппарат абонента должен быть оснащен достаточными средствами обработки для поддержки алгоритма в реальном времени; при этом сложность алгоритма и требуемая мощность могут влиять на мощность устройства электропитания и срок службы батарейки;

- характеристики при последовательном включении; если сеть или услуга требует взаимодействия с другими системами, применяющими кодирование речи, то должны рассматриваться характеристики качества передачи речи через последовательно соединенные кодеки;

- передача неразговорных сигналов; аппаратура должна обеспечивать прием всех сетевых сигналов, которые могут передаваться в речевой полосе частот;

- коммерческие соображения, включая права на интеллектуальную собственность.

Важным фактором ощущаемого качества кодера является полоса звуковых частот, в которой передается кодируемый сигнал. До настоящего времени большинство кодеков, используемых в современной телефонной связи, занимают полосу 300...3400 Гц (так называемая узкополосная речь). Это ограничение существует почти 100 лет, причем сами сети полосу частот не ограничивают (ограничение обусловлено характеристиками применяемых преобразователей). Именно частота 3,4 кГц была принята в качестве верхней граничной для коммутируемой телефонной сети общего пользования в стандарте цифровой передачи G.711 [4]. Хотя большая часть энергии чаще всего содержится в гласных звуках, которые занимают полосу частот ниже 3 кГц, согласные, несущие критическую информацию, часто требуют полосы частот выше 3 кГц [5]. Поэтому узкополосные системы могут ухудшить разборчивость, например, звуки "с" и "ф" различаются только за счет частот выше 3 кГц. С другой стороны, увеличение полосы частот сигнала до 50...7000 Гц (так называемой широкой полосы), улучшает разборчивость, что требует от слушателя меньшей концентрации внимания, а следовательно, значительно снижает усталость.

Сегодня в эксплуатации много узкополосных речевых кодеков – начиная с G.711, который применяется в КТСОП со скоростью передачи 64 кбит/с, до G.729 (8 кбит/с) [6] и G.723.1 (6,4 и 5,3 кбит/с) [7], которые используются в услугах мультимедиа. Одним из кодеков, разработанных для мобильных сетей и работы с разными скоростями передачи вплоть до 4,3 кбит/с, является адаптивный многоскоростной кодек AMR (Adaptive Multi-Rate). В настоящее время мало работ по новым узкополосным кодерам – может быть, потому, что уже существуют кодеки для большинства применений. Единственная область, в которой появляются новые узкополосные кодеки – это специальные разработки для пакетных систем Интернет-телефонии. В них созданы более робастные к потерям пакетов кодеки, чем предыдущие кодеки, разработанные для сетей с коммутацией каналов. Это кодеки iLBC [8] (предложенные комиссией IETF) и Enhanced G.711 [9] производства Global IP Sound.

Однако наряду с разработками узкополосных речевых кодеков большое внимание специалистов привлекают широкополосные речевые кодеки, рассчитанные на полосу частот речевого сигнала 50...7000 Гц. Первые широкополосные кодеки G.722 (48, 56 и 64 кбит/с) [10] были стандартизированы МСЭ в 1988 г. Первоначально предполагалось, что они заменят кодеки G.711, когда ЦСИО получают более широкое

распространение. Это кодеки со сложной формой сигнала, которые работают с двумя поддиапазонами и имеют хорошие характеристики, но невысокий коэффициент сжатия. Затем последовала рекомендация G.722.1 (24 и 32 кбит/с) [11] на кодек, широко используемый в настоящее время в терминалах конференц-связи.

В 2000 г. проектом 3GPP был стандартизирован кодек AMR-WB (Adaptive Multi-Rate Wide Band) для применения в мобильных системах третьего поколения. В 2001 г. он был стандартизирован МСЭ в качестве последнего широкополосного кодера G.722.2. Кодек работает с разными скоростями передачи от 6,6 до 23,85 кбит/с, но его вычислительная сложность может быть ограничена возможностями реализации. Очень важно, что обе организации (МСЭ и 3GPP) приняли один и тот же кодек, так как это устраняет необходимость перекодирования при работе между проводными и беспроводными сервисами. В конечном счете это снизит стоимость и улучшит характеристики передачи "из конца в конец". По проекту 3GPP также реализована версия AMR-WB+ (в 2004 г.). Она позволяет улучшить характеристики при передаче неречевых сигналов и является обратно совместимым расширением стандарта AMR-WB. Цель версии – возможность применения в системах передачи с коммутацией пакетов также услуг мультимедиа. В Интернете можно найти сведения и о многих других разработках широкополосных кодеков. Расширен для широкополосного применения и кодек G.729 путем создания возможности многоскоростной передачи (рекомендация G.729EV 2006 г.).

Обзор развития достижений в области техники кодирования речевых сигналов дает основания считать, что в настоящее время существуют все предпосылки для постепенного повсеместного перевода телефонной связи на полосу 50-7000 Гц. Этот вывод относится не только к сети Интернет и пакетной передаче, но и к традиционным цифровым телефонным сетям общего пользования. Скорость передачи 64 кбит/с в таких сетях вполне достаточна для существенного повышения качества передачи и разборчивости речи за счет изменения системы кодирования в оконечных пунктах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейман В.И., Селезнев Д.А. Дальнейшая интеграция сетей и задачи обеспечения качества телефонной связи// Электросвязь. – 2007. – № 6.
2. Танненбаум Э. Компьютерные сети, 4-е изд. – СПб.: Питер, 2003.
3. Session Initiation Protocol – SIP. RFC-3261. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>.
4. ITU-T Recommendation G.711: "Pulse Code Modulation of Voice Frequencies", 1988.
5. Heron A.J., Turnbull R.S., Hughes P.J. Communicating naturally – the opportunities of wideband coding. – BT Technology Journal.- Vol. 24, No 2, April 2006.
6. ITU-T Recommendation G.729 "Coding of Speech at 8 kbit/s Using Conjugate-structure Algebraic-code-excited Linear Prediction (CS-ACELP)", 1996.
7. ITU-T Recommendation G.723.1: "Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communications Transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s", 1996.
8. Anderson S. et al. Internet Low Bit Rate Codec iLBC. IETF RFC – 3951 (2004) – <http://www.ietf.org/rfc/rfc3951.txt>.
9. GIPS Enhanced G.711- <http://www.globalipsound.com/datasheets/EG711.pdf>.
10. ITU-T Recommendation G.722: "7 kHz audio-coding within 64 kbit/s", 1988.
11. ITU-T Recommendation G.722.1: "Low-complexity Coding at 24 and 32 kbit/s for Hands-free Operation in Systems With Low Frame Loss", 2005.

Получено 9.02.07