

МОЛОДЫЕ УЧЕНЫЕ С.-ПЕТЕРБУРГА ПРЕДСТАВЛЯЮТ

В феврале в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ) в течение трех дней проходила вторая Международная конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов стран СНГ "ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СВЯЗИ". Поддержку в ее организации университет получил со стороны Минсвязи России, Регионального сотрудничества в области связи, С.-Петербургского отделения Международной академии наук высшей школы, ЛОНИИС, ЛОНИИР, ОАО "ПТС", "СПб международный междугородный телефон", "Ленсвязь", "Гипросвязь СПб", НОУ "Санкт-Петербургский центр электросвязи", а также Международного банковского института и компании "Гротек".

Конференция, объединившая более 150 юношей и девушек из России, Армении, Белоруссии, Узбекистана и Украины, стала поистине смотром сил и возможностей нового поколения связистов – поколения, которое будет определять развитие отраслевой науки в наступающем тысячелетии. Стала она и свидетельством того, что потенциал вузовской науки, несмотря на финансовые и другие сложности, достаточно высок, что политика министерства в области образования позволила не только выжить российским отраслевым вузам, но и выйти на уровень обучения, отвечающий современным требованиям развития телекоммуникаций. Лучшее доказательство тому – представленные доклады, а их на девяти секциях ("Теория связи", "Линии связи телекоммуникационных систем", "Сети связи", "Мобильные системы связи", "Телевидение", "Современная элементная база", "Экономика и управление в связи", "Защита информации и информационные технологии", "Организация и технология почтовой связи") было более 150. Практически все они подтвердили хорошую подготовку, зрелость, эрудицию и компетентность участников конференции.

В результате семь из них были отмечены Почетными грамотами Минсвязи России, девять – оргкомитета университета, 29 – Почетными грамотами секций. Первая премия, учрежденная РСС России за лучшую научную работу и лучший доклад, была присуждена посланцу БГУИР С.Б. Ковальчуку, а приз компании Deutsche Telecom (поездка на выставку в Ганновер) – недавно защитившему кандидатскую диссертацию сотруднику ЛОНИИС Е.А. Кучерявому. Кроме того, за лучшие доклады 16 человек получили ценные подарки.

Надо сказать, организаторы конференции очень тепло и, прямо скажем, по-отечески отнеслись к ребятам. Помимо наградений для них было организовано бесплатное посещение "Эрмитажа", Большого драматического театра – одного из лучших театров страны. Очень ценно и то, что к началу конференции университет выпустил сборник, в котором были опубликованы практически все доклады участников конференции и который был роздан им также бесплатно.

Достоинством форума, безусловно, стала школа-семинар, с которой, собственно, началась конференция. На ней преподаватели университета и ведущие сотрудники отраслевых научно-исследовательских институтов С.-Петербурга познакомили слушателей с принципами и тенденциями развития связи в стране и за рубежом, обозначили основной круг проблем, связанных с развитием отрасли, совершенствованием и реализацией сетевых технологий, организацией мобильной связи и созданием информационных систем, разработкой инвестиционных проектов в ракурсе зарубежной теории и отечественной практики.

Такой "мастер-класс" был очень полезен для слушателей, особенно для ребят из стран ближнего зарубежья, где связь, к сожалению, не получила такого развития, как в России. В целом конференция, по мнению преподавателей и отзывам ребят, очень много дала для расширения кругозора и самовыражения молодежи. Кроме того, она позволила завязать полезные и интересные знакомства, понять, что несмотря на все сложности, жизнь продолжается, что нас еще очень многое связывает.

В этом номере журнала мы предлагаем вниманию читателей пять работ, отобранных организационным комитетом конференции для публикации.

УДК 621.391

АРХИТЕКТУРА МОДУЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ДВУХКАНАЛЬНОГО ШЛЮЗА IP-ТЕЛЕФОНИИ

В.В. Бабкин

В настоящее время широкое распространение получает IP-телефония – передача речевой информации в реальном масштабе времени по цифровым сетям передачи данных с коммутацией пакетов на основе IP-протокола. Разработанный двухканальный шлюз IP-телефонии [1] состоит из персонального компьютера (ПК) и модуля обработки сигналов (DSP-модуля), выполненного в виде ISA платы на базе цифрового процессора обработки сигналов (DSP) TMS320c549. В статье рассмотрена структура и особенности реализации программного обеспечения (ПО) DSP-модуля.

Постановка задачи. Структура ПО DSP-модуля прежде всего отражает его функциональность – он должен обеспечивать интерфейс с ТфОП и выполнять в реальном масштабе времени задачи преобразования звуковой информации, анализа служебной сигнализации и поддержания процесса соединения абонентов различных сетей согласно сценарию.

С другой стороны, производительность современных DSP достигла уровня, позволяющего строить на одном процессоре многоканальные системы обработки сигналов [2] и, таким образом, понизить стоимость разработки в пересчете на один канал. Поэтому для рационального использования ресурсов DSP необходима не только эффективная реализация отдельных функций анализа и обработки сигналов, но и правильная организация внутренней структуры ПО DSP-модуля в целом. Многообразие функций, а также необходимость открытости архитектуры для программирования и дальнейшего развития приводят к мысли об использовании в качестве связующей среды внутри DSP-модуля встроенного микроядра операцион-

ной системы реального времени (ОСРВ) с унифицированными функциями ввода/вывода. Благодаря наличию системного ядра решаются следующие задачи:

- предоставление модулям управления и обработки сигналов единых системных функций ввода/вывода и их поддержка на аппаратном уровне;
- вызов модулей с учетом их приоритетов согласно сценарию работы;
- обработка аппаратных прерываний процессора;
- поддержание многоканальной работы.

Данный подход позволяет эффективно организовать решение функциональных задач, сохраняя при этом независимость разработки отдельных модулей и открытость всей системы для развития и изменения аппаратной конфигурации.

Особенности функциональной реализации. Функциональная блок-схема обработки сигналов в DSP-модуле IP-телефонного шлюза показана на рисунке (один канал). Аналоговый сигнал от телефонной линии или от телефонного аппарата проходит дифференциальную систему, аналого-цифровой преобразователь и преобразуется в цифровой поток 64 кбит/с по "А" закону (ITU-T G.711). Эхо-компенсатор удовлетворяет требованиям Рекомендации ITU-T G.165. Новыми элементами является адаптивное изменение порога чувствительности детектора двойного разговора, позволяющее работать с уровнями эхо-сигнала > -6 дБ, и управление скоростью схождения коэффициентов исходя из результатов анализа параметров сигнала. Благодаря этому эхо-компенсатор способен понижать скорость адаптации на сигналах с узкополосным спектром, таких как

сигналы телефонной сигнализации или вокализованные участки речи. Далее сигнал проходит автоматическую регулировку усиления (APУ) и речевое кодирование.

Реализованы следующие алгоритмы вокодеров: CELP кодек со скоростью 4,6 кбит/с, имеющий улучшенный механизм интерполяции потерянных пакетов (разборчивость речи сохраняется вплоть до 15 % одиночных потерь) и быстрый поиск в алгебраической кодовой книге [3], CS-ACELP кодек со скоростью 8 кбит/с (G.729A), MP-MLQ ACELP кодек (G.723.1) со скоростями 6,3 и 5,3 кбит/с. Все речевые кодеки имеют встроенный детектор речевой активности (VAD), позволяющий понижать скорость выходного потока в паузах практически до нуля и тем самым снижать загрузку сети. Выполнение Рекомендаций G.723.1 и G.729A полностью соответствует контрольным тестовым последовательностям. Параллельно кодированию осуществляется анализ входных сигналов на предмет обнаружения служебной сигнализации ATC: ответа станции, контроля посылки вызова, сигнала "занято" или посылки тонового набора номера (DTMF). Детектор DTMF сигналов работает в диапазоне входных уровней от 0 до -25 дБм, он устойчив к речевым сигналам. Далее формируются пакеты речевых данных, содержащие временную метку и тип речевого кадра. Затем они отправляются приложению в ПК и далее – в IP-сеть с использованием UDP-протокола.

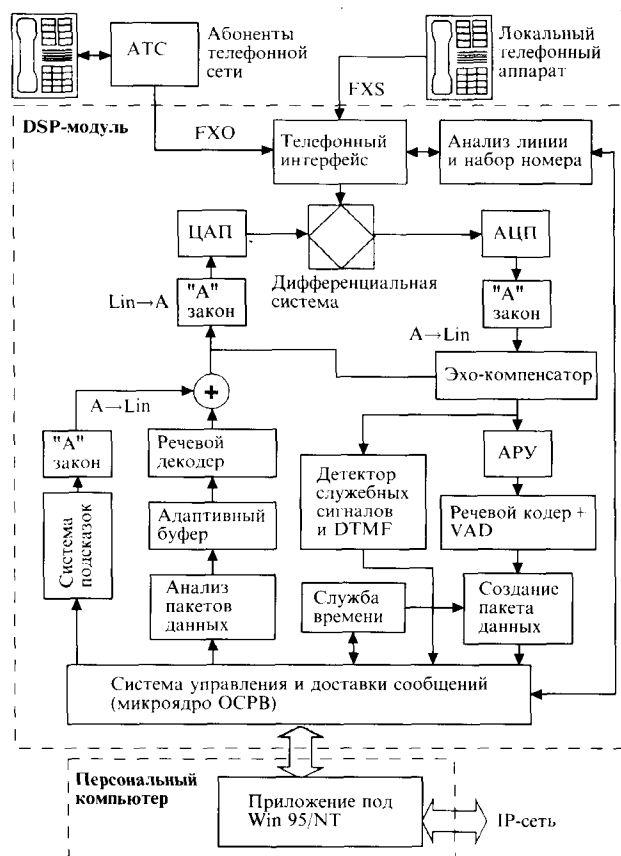
На приемной стороне происходит адаптивная буферизация принятых пакетов для сглаживания неравномерностей времени их доставки по сети, сортировка пакетов по времени синтеза и интерпретация отсутствующих пакетов либо как паузных, либо как потерянных. После этого осуществляется декодирование с интерполяцией потерянных кадров, цифроаналоговое преобразование и выдача звукового сигнала в абонентскую линию. Поскольку тип вокодера на приемной стороне определяется автоматически по типу пришедшего кадра, скорость соединения может переключаться без разрыва сессии связи. Через шлюз абонент дополнительно получает голосовые сообщения, которые поступают от ПК и смешиваются с выходным речевым потоком.

Особенности реализации системного ядра. Ядро ОСРВ обслуживает аппаратные прерывания DSP, обеспечивает программный интерфейс функций ввода, вывода, вызывает модули обработки сигналов согласно приоритетам и сценарию, поддерживает работу двух каналов. Аппаратные запросы на прерывания поступают от последовательных портов, внутреннего таймера и интерфейса хост-порта DSP, через который осуществляется обмен данными с ПК.

Для унификации взаимодействия функциональных блоков в распределенной вычислительной системе, каковым является шлюз, и обеспечения простого механизма расширения набора команд и данных встроенная система поддерживает обмен данными в формате сообщений. При этом каждая функция обеспечивает посылку и получение сообщения, а их доставку берет на себя система. Сообщение состоит из заголовка с адресами получателя и отправителя, кодом и длиной сообщения, а также из присоединенного пакета с данными. Отправка сообщений осуществляется путем вызова системных функций, при этом сообщение помещается в выходную системную очередь и в зависимости от адреса назначения отправляется либо функции внутри DSP-модуля, либо приложению, работающему на ПК, либо удаленному шлюзу через IP-сеть. Принятые сообщения система буферизует во входной очереди и отдает функции получателю при его вызове.

Помимо отправки сообщений, управление функциями и сценарием их вызовов в пределах DSP-модуля выполняется через систему semaфоров, состоящую из набора глобальных флагов, доступных из любой функции по имени.

Последовательность вызова функций определяется согласно сценарию установления, поддержания и разрыва соединения двух абонентов. Общее тактирование системы определяется готовностью нового речевого кадра. Функции сигнальной обработки реального времени (компаандирования, эхо-компенсации, APУ, анализа служебных сигналов ATC и речевого



кодирования) выполняются в первую очередь и прерываются только обработкой аппаратных запросов на прерывания.

К задачам второго плана относится разборка входных очередей, сортировка пакетов и др. Они ведутся в фоновом режиме, причем управление отдается системе с началом нового кадра. Кроме того, система поддерживает механизм отложенного вызова, который заключается в автоматическом вызове заданных функций с передачей им управляющих параметров спустя строго определенное время от момента постановки данной задачи. Это позволяет учитывать задержки распространения управляющих сообщений и вводить удобную систему тайм-аутов. Для удобства отладки в DSP-модуле совместно с приложением на ПК реализован ввод сообщений из ПК с пульта пользователем и вывод сообщений на экран ПК или в файл.

Вся логическая часть ядра ОСРВ в целях легкой модификации и переносимости кода написана на языке Си, системные функции ввода/вывода и обработчики прерываний, требующие скорости выполнения, написаны на ассемблере.

Особенности организации работы двух каналов. Обработка двух каналов в DSP-модуле осуществляется независимо от их состояния. Каждый канал имеет свой набор глобальных флагов, входную и выходную очереди сообщений. Вызов процедур обработки данных каждого канала осуществляется системой последовательно, в пределах каждого кадра. Подробно реализация многоканальности изложена в [2]. В данном

Таблица

Алгоритм	Загрузка DSP (MIPS)	Память программ (К слов)	Память данных (К слов)
TCELP 4,6 кбит/с	27	7,7	4,7+9,2 (табл.)
G.723.1 5,3/6,3 кбит/с	20/25	8,7	2,0+9,2 (табл.)
G.729A 8 кбит/с	15,5	9,9	3,1+3,0 (табл.)
Эхо-компенсатор 16 мс	4,6	0,7	0,7
APУ	0,4	0,05	0,01
Компаандирование (G.711)	0,42	0,06	-
Детектор DTMF сигналов	1,5	1,3	2,3
Детектор сигналов ATC	0,5	0,5	0,01
Ядро ОСРВ	5	3,8	0,8 (без буферов)

случае применяется метод переключения страниц внешней памяти данных при едином программном коде.

Особенности реализации на TMS320c549. Для максимально эффективного использования ресурсов DSP необходимо учитывать специфику его работы с оперативной памятью и правильно распределять память на этапе компиляции программы. Внешняя память требует дополнительных тактов ожидания, внутренняя имеет различия по типу доступа (DARAM/SARAM), что также влияет на скорость выполнения программы. Поэтому стек программы размещен в области DARAM, там же резервируется место для системной "кучи" – области временного хранения данных. Программный код находится в SARAM, во внешней памяти хранятся таблицы вокодеров, очереди сообщений и специфическая для каждого канала информация. Параметры реализации отдельных функциональных блоков представлены в таблице.

Таким образом, при построении многоканальных систем обработки сигналов на базе современных DSP использование встроенного микроядра OCPB позволяет организовать эффективное решение функциональных задач и сохранить при этом гибкость внутренней структуры ПО и открытость системы для развития и изменения аппаратной конфигурации. В целом, на базе изложенного подхода в DSP-модуле на одном процессоре

TMS320c549 (100 MIPS) удалось реализовать два независимых дуплексных канала обработки сигналов IP-телефонного шлюза.

Данный DSP-модуль благодаря гибкой внутренней архитектуре может применяться для построения всего спектра устройств компьютерной телефонии: автоматических телефонных справочных служб, многоканальных цифровых регистраторов речи, интеллектуальных автоответчиков, систем голосовой почты и факсимильной связи через Интернет, автоматических систем удаленного управления по телефону и многих других устройств на стыке компьютерных и телефонных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев И.В., Бабкин В.В., Знамеровский А.Е. Реализация многоканальных шлюзов IP-телефонии // 2-я межд. конф. Цифровая обработка сигналов и ее применения: докл., т. 2. – М., 1999. – С. 432–438.
2. Андреев И.В., Бабкин В.В., Знамеровский А.Е. Реализация многоканальных речевых CELP кодеров на DSP TMS320c548 // 2-я межд. конф. Цифровая обработка сигналов и ее применения: докл., т. 2. – М., 1999. – С. 283–289.
3. Babkin V., Ivanov V., Lanne A., Pozdnev I. Internet telephony vocoders // The 2-nd European DSP Educational and Research Conference: proceedings, Paris, 1998. – P. 83–87.

Получено 14.03.2000

УДК 621.396.9

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ CDMA МЕТОДОМ АДАПТАЦИИ ШАГА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ПЕРЕДАТЧИКОВ ПОДВИЖНЫХ СТАНЦИЙ

А.Н. Никитин

Как известно, телекоммуникационный рынок быстрыми темпами завоевывают системы мобильной радиосвязи с кодовым разделением каналов. Рост числа абонентов сетей cdmaOne (коммерческое название стандарта IS-95) во всем мире составил 171 % (1999 г.), что превосходит аналогичные показатели роста любой другой радиотехнологии.

Полноценная эксплуатация систем CDMA ставит перед разработчиками ряд проблем, одна из которых – необходимость прецизионной автоматической регулировки мощности (АРМ) передатчиков подвижных станций (ПС). Поскольку рабочие каналы в системе CDMA используют единый частотно-временной ресурс, для успешного разделения и обработки сигналов при приеме на базовой станции (БС) мощности сигналов рабочих каналов необходимо привести к единому уровню. В противном случае сильные сигналы одних каналов будут подавлять слабые сигналы других, что резко ограничит пропускную способность обратного канала (ПС-БС) и системы связи в целом. Таким образом, качество работы АРМ ПС в значительной мере влияет на пропускную способность сети сотовой связи с кодовым разделением каналов.

Специфика системы АРМ ПС в сетях CDMA состоит в необходимости компенсации быстрых замираний сигнала, вызванных многолучевым распространением радиоволн и мобильностью абонентов [1, 2]. Для подавления быстрых замираний для стандарта cdmaOne необходима специальная система быстрого регулирования мощности (быстрой АРМ), эквивалентная схема которой показана на рис. 1 (F – быстрые замирания в радиоканале, I_0 – спектральная плотность мощности внутрисистемных помех, P – мощность передатчика ПС, R_X – мощность сигнала на выходе комбайнера RAKE-приемника БС). Быстрая АРМ построена по схеме с обратной связью: БС оценивает текущее отношение сигнал/шум при приеме в канале обратного трафика SNR , сравнивает его с

порогом SNR_d и по сигналу рассогласования вырабатывает и передает на ПС команду о соответствующей подстройке мощности передатчика [1, 2]. Быстрое регулирование мощности осуществляется в динамическом диапазоне 84 дБ с частотой 800 Гц (период $T_{pc} = 1,25$ мс) и шагом $\Delta = 0,5$ дБ. Команды АРМ передают в режиме дельта-модуляции (ДМ), а пороговое отношение сигнал/шум в петле регулирования устанавливают адаптивно, по результатам измерений коэффициента ошибок при передаче.

Практика эксплуатации сетей cdmaOne показала, что даже при столь сложной организации системы АРМ качественное подавление быстрых замираний возможно, если абонент движется со скоростью до 5–10 км/ч. С увеличением скорости движения быстрое регулирование мощности становится неэффективным, и заданное качество связи обеспечивается путем повышения энергетических запасов на замирания. В результате возрастает уровень внутрисистемных помех и, как следствие, падает сетевой трафик. Несовершенство быстрой АРМ ПС во многом обуславливает отличие реальных эксплуатационных характеристик стандарта cdmaOne от потенциально достижимых.

Предлагаемая в данной статье методика позволяет повысить эффективность управления мощностью передатчиков ПС благодаря адаптации шага регулирования Δ быстрой АРМ (во избежание двусмысленности оговоримся, что речь не идет об одной из форм адаптивной дельта-модуляции). Методика стала результатом серии научных исследований. Она основана на том, что при стационарных замираниях в радиоканале существует величина шага быстрой АРМ Δ_{opt} , минимизирующая среднеквадратичную ошибку управления мощностью ϵ_{RX} :

$$\epsilon_{RX} = \sqrt{\text{Var}[10 \lg R_X(t)]} = \min_{\Delta=\Delta_{opt}}$$