

РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ШЛЮЗОВ IP-ТЕЛЕФОНИИ

Андреев И.В., Бабкин В.В., Знамеровский А.Е.

Центральный НИИ Робототехники и Технической Кибернетики
194064, Россия, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21
E-mail: barabashka@fnmail.com, aznamer@nevsky.net

Реферат. В докладе представлена практическая реализация многоканальных шлюзов IP-телефонии между телефонными сетями общего пользования и компьютерными сетями, построенными на базе IP-протокола. Устройства выполнены на базе DSP семейства TMS320c54x в виде плат для персонального компьютера. Изложены особенности построения IP-телефонной системы и проблемы, возникающие при передаче речевой информации в реальном времени через интернет. Приведены параметры и особенности реализации алгоритмов на DSP.

1. Введение.

Шлюзами IP-телефонии являются устройства, объединяющие телефонные сети общего пользования с компьютерными сетями локального, корпоративного или глобального уровня, построенными на базе IP- протокола, в т.ч. и с сетью Internet [1,2]. Основной задачей шлюзов является прозрачная для абонентов организация телефонных соединений между удаленными пользователями различных телефонных сетей с промежуточной передачей в реальном масштабе времени речевого потока и служебной сигнализации по компьютерным сетям в виде пакетов. Шлюзы могут быть также использованы для построения автоматических телефонных справочных служб, в т.ч. с распределенными базами данных, интеллектуальных автоответчиков, систем голосовой почты и факсимильной связи через Internet и других устройств на стыке компьютерных и телефонных сетей.

К достоинствам такой организации речевых каналов связи можно отнести:

- Гибкую адресацию и маршрутизацию пакетов.
- Одновременное создание нескольких виртуальных речевых каналов параллельно с основной передачей данных на базе единого подключения к компьютерной сети.
- Экономное использование емкости каналов. Снижение потока речевых данных за счет компрессии с 64 до 4.6...8 кбит/с для речи и до 0...200 бит/с в паузах (без учета заголовков пакетов).
- Криптографическую защиту речевой информации.

К недостаткам можно отнести:

- Задержку распространения сигнала, достигающую на сети Internet долей секунд.
- Искажение сигнала за счет потерь пакетов. Отсутствие гарантированной доставки.
- Растущие накладные расходы по передаче служебной информации в виде заголовков речевых пакетов при уменьшении длины речевого кадра.

В работе представлены два шлюза, рассчитанные на 2 и 8 (16) каналов и выполненные в виде DSP карт, вставляемых в персональный компьютер, работающий под управлением операционной системы Windows-95. К карте подключаются телефонные линии или аппараты. Вся обработка сигналов реализована на DSP семейства TMS320c54x.

2. Принципы построения и алгоритм работы.

Пользователь совершает звонок на внутригородской или местный номер, к которому подключен шлюз, либо просто снимает трубку телефона, подключенного к шлюзу, и слышит приветствие шлюза и инструкции. Далее он в тоновом режиме набора номера вводит условный код страны, города и телефонный номер удаленного абонента. Система вычисляет IP-адрес удаленного шлюза, проверяет его работоспособность, устанавливает соединение, проверяет

возможность выхода на удаленную АТС и передает ему номер для набора. Служебные сигналы АТС: ответ станции, многочастотный телефонный код набора номера (DTMF), контроль посылки вызова, сигнал "занято" - детектируются шлюзом и передаются по сети в виде управляющих сообщений, использующих TCP протокол с гарантией доставки.

Речевые данные из телефонной линии проходят дифференциальную систему, попадают на входной аналогово-цифровой преобразователь и преобразуются в цифровой поток 64 кбит/с по А-закону (рекомендация ITU-T G.711) с частотой квантования 8 кГц. Далее они разбиваются на кадры длиной 10 или 30 мс, проходят эхокомпенсацию (рекомендация ITU-T G.165), автоматическую регулировку уровня и попадают в блок речевого кодирования.

В системе использованы два речевых кодека: CELP кодек собственной разработки [3], предназначенный для работы в сетях с коммутацией пакетов и имеющий скорость выходного цифрового потока 4.6 кбит/с, и стандартный CS-ACELP кодек на скорость 8 кбит/с, выполненный по рекомендации ITU-T G.729 (Annex A & B). Оба кодека имеют встроенный детектор речевой активности VAD, позволяющий уменьшать выходной поток речевых данных в паузах до 200 или 0 бит/с соответственно.

Из выходного потока кодеков формируются пакеты речевых данных с дополнительной информацией о типе речевого кадра и времени синтеза, которые отправляются в сеть, используя UDP протокол.

На приемной стороне происходит адаптивная буферизация пакетов для сглаживания неравномерности времени их доставки по сети, сортировка по времени синтеза и интерпретация отсутствующих пакетов либо как паузных, либо как потерянных. Размер буфера определяется конкретной ситуацией в сети и является компромиссом между вносимой задержкой распространения сигнала и уровнем потерянных пакетов, т.к. даже при отсутствии потерь пакетов в сети опоздавшие кадры считаются потерянными. Использованный речевой кодек [3] спроектирован так, что разборчивость речи сохраняется вплоть до 15% одиночных потерь.

Далее происходит речевое декодирование с интерполяцией потерянных кадров, цифро-аналоговое преобразование и выдача звукового сигнала в линию абоненту. Декодер автоматически настраивается на тип пришедшего кадра, поэтому скорость соединения может переключаться на лету без разрыва сессии связи и без обмена дополнительными служебными сообщениями.

Необходимая максимальная (пиковая) пропускная способность сети определяется из соображений максимальной скорости потока данных на один канал.

При использовании вокодера на скорость 4.6 кбит/с размер кадра составляет 30 мс, при этом, к речевому пакету размером 20 байт добавляется заголовок транспортного протокола UDP 8 байт и заголовок сетевого протокола IP 20 байт. Поэтому максимальная скорость выходного цифрового потока составляет 12.8 кбит/с для речевых кадров. Информация о паузных кадрах передается с прореживанием в времени и скорость падает до 1.8 кбит/с. Для дуплексного канала связи требуется пиковая пропускная способность 25.6 кбит/с, если оба абонента будут говорить одновременно (что не типично), и около 3.6 кбит/с в режиме молчания обеих сторон. При использовании вокодера на скорость 8 кбит/с размер кадра составляет 10 мс, пиковая скорость цифрового потока в одну сторону с учетом заголовков составляет 32.8 кбит/с для речи и 0 кбит/с для пауз (65.6 и 0 кбит/с для дуплексного варианта соответственно).

Средняя загрузка сети будет намного ниже. Для ее оценки необходимо учитывать как статистику речевой активности абонентов, так и наличие фоновой акустической обстановки способной блокировать работу детектора речевой активности.

Пользовательский интерфейс шлюза состоит из службы голосовых приглашений, подсказок и объяснений и дает возможность любому абоненту, позвонившему по телефону на шлюз, понять, что происходит в системе и как действовать в данной ситуации. Типовыми сообщениями являются:

- приглашение к набору номера
- сообщение о несуществующем коде страны, города, шлюза
- сообщение о невозможности связаться с удаленным узлом и набрать номер
- сообщение об обнаружении сигнала "занято" АТС

- сообщение об окончании сеанса связи

3. Реализация.

3.1 Аппаратная часть.

Разработаны и реализованы два варианта шлюзов. Первый вариант реализует 8 (16) дуплексных IP-телефонных каналов и поддерживает 8 (16) входных телефонных линий (FXO). Устройство состоит из многопроцессорного DSP модуля, выполненного в виде PCI-карты персонального компьютера, и 1 (2) плат телефонных интерфейсов в виде ISA-карт. DSP модуль содержит 8 процессоров TMS320c548 (80 MIPS) и осуществляет как обработку сигналов так и функции управления телефонными интерфейсами. DSP модуль связан по шине SC-bus с 8-канальной платой телефонных интерфейсов, осуществляющей согласование и управление телефонными линиями, а также аналогово-цифровое и цифро-аналоговое преобразование сигналов. По шине PCI DSP модуль связан с персональным компьютером и обменивается данными по прерываниям с приложением, работающим под Windows 95(NT), которое управляет логикой соединения и поддерживает выход в сеть.

Второй вариант шлюза более компактен и реализует 2 дуплексных IP-телефонных канала. Он поддерживает 2 входные телефонных линии (FXO) и 2 непосредственно подключенных телефона (FXS). Выбор между входным звонком, поступившим на вход шлюза, или снятием трубки подключенного телефона происходит автоматически. В незанятом состоянии сохраняется возможность звонка с телефона на линию без дополнительных переключений. Устройство состоит из ISA-карты, реализующей как согласование и работу с линией, так и независимую обработку сигналов двух каналов на процессоре TMS320c549 (100 MIPS). Процессор общается с PC через прерывания и механизм прямого доступа к памяти DSP через интерфейс хост порта (HPI).

Приложение на PC одинаково в обоих случаях и отличается только драйвером устройств и конфигурацией.

3.2 Программное обеспечение DSP процессора.

Вся обработка речевых и служебных сигналов производится на DSP.

Реализованы следующие алгоритмы:

1. Речевой CELP кодек на скорость 4.6 кбит/с, имеющий улучшенный механизм интерполяции потерянных пакетов [3], встроенный VAD и быстрый поиск в алгебраической кодовой книге.
2. Речевой CS-ACELP кодек на скорость 8 кбит/с, выполненный по рекомендации ITU-T G.729ab, имеющий высокое качество кодирования речевых сигналов и встроенный VAD и полностью соответствующий контрольным тестовым последовательностям.
3. Эхокомпенсатор. Длина эхотракта 16 мс (128 (.), 8 кГц), удовлетворяет рекомендации ITU-T G.165. Дополнительно имеет адаптивный алгоритм изменения порога детектора двойного разговора, позволяющий работать с эхосигналами хуже чем -6 дБ.
4. Автоматическая регулировка усиления в пределах 0...+10 дБ, с задаваемыми параметрами времени атаки-восстановления.
5. Упаковка-распаковка А-закону (рекомендация ITU-T G.711).
6. Детектор DTMF сигналов в диапазоне уровней от 0 до -25 дБм. (рекомендация ITU-T Q.24).
7. Детектор служебных сигналов АТС: ответ станции, контроль посылки вызова, сигнал "занято".
8. Поддержка обмена по шине SC-bus, обслуживание прерываний АЦП/ЦАП, HPI, обмена с PC.

Речевые кодеки и эхокомпенсатор в целях экономии ресурсов DSP реализованы в двухканальном варианте, позволяющем использовать один программный код и общую область временных данных для последовательных вызовов в разных каналах. Статические данные

разных каналов хранятся в разных массивах и обращение к ним происходит через переключение дескрипторов [4].

Параметры реализации на DSP представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры реализации алгоритмов на TMS320c548.

Алгоритм	Загрузка DSP (MIPS)	Память программ (К слов)	Память данных (К слов)
CELP 4.6 кбит/с 1 канал:	27	8	16
2 канала:			+1.6
G.729ab 1 канал:	15.5	9.65	8.13
2 канала:			+1.85
Эхокомпенсатор 1 канал:	4.6	0.7	0.7
2 канала:			+0.7
APU	0.4	0.05	0.01
A-закон (G.711)	0.42	0.06	-
Детектор DTMF сигналов	1.5	1.3	2.3
			+1.0
Детектор служебных сигналов ATC	0.5	0.47	0.01

4. Направления дальнейшего развития.

В качестве дальнейшего развития проекта предполагается:

- Поддержка операционной системы UNIX, как более устойчивой для организации шлюзов функционирующих без текущего обслуживания.
- Поддержка протокола H.323 для совместимости с широко распространенными продуктами IP-телефонии.
- Введение возможности криптографической защиты речевых пакетов.
- Введение системы расчета времени (стоимости) переговоров.
- Поддержка T1 стыка.
- Поддержка факсимильной связи.
- Поддержка программы голосовой почты.
- (Поддержка АОН)

5. Заключение.

Полученные результаты показывают, что для реализации многоканальных шлюзов для передачи речи в реальном масштабе времени поверх IP-протокола с полноценной обработкой телефонной сигнализации требуются высокопроизводительные многопроцессорные системы.

При построении на шлюза базе ПК с использованием DSP в качестве сопроцессоров для обработки речевых и служебных сигналов, на одном процессоре TMS320c549 (100 MIPS) возможна реализация двух независимых дуплексных каналов.

Библиография

1. Иванов В.Н., Колесов В.Н., Ланнэ А.А., Позднов И.Б., Семенов О.Б., "Анализ технологий IP-телефонии", Технологии и средства связи, № 4 (сентябрь-октябрь), 1998
2. Юдин А.А., "IP-телефония – примеры решений", СТИ Компьютерная телефония, №1 (март-апрель) 1999
3. Babkin V., Ivanov V., Lanne A., Pozdnov I. "Internet Telephony Vocoders", Proceedings Of The Second European DSP Educational and Research Conference 1998 p.83-87
4. Андреев И. В., Бабкин В. В., Знамеровский А. Е., "Реализация Многоканальных Речевых CELP Кодексов На DSP TMS320c548", 2-я межд. конф. Цифровая Обработка Сигналов и ее применения, Москва, 1999.