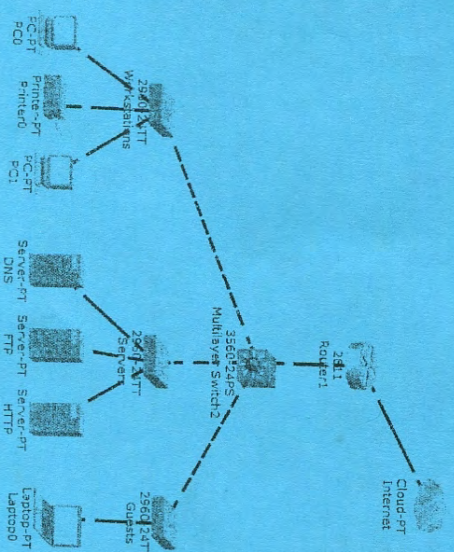


СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕТИ СВЯЗИ

Методические указания к лабораторным работам



Современные интеллектуальные сети связи: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т. сост. В. Т. Дмитриев. Рязань, 2022. 48 с.

Содержат материал для выполнения лабораторных работ, посвященных изучению проектирования IP-сетей и функциональных возможностей современных АТС. В первой лабораторной работе рассмотрены возможности проектирования VoIP-сети с использованием программной АТС Asterisk в среде управления Elastic. Во второй лабораторной работе рассмотрены теоретические основы сетей IP-телефонии и протокола управления сессиями SIP. В третьей лабораторной работе рассмотрены теоретические основы сетей IP-телефонии; ко덶ов, использующихся в телефонной связи. В четвертой лабораторной работе осуществляется знакомство с основными кодами речевых сигналов, использующихся в сетях связи.

Предназначены для обучения бакалавров и магистров по направлениям подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и специалистов по специальности «Радиотехнические системы и комплексы».

Табл. 2. Ил. 31. Библиогр.: 14 назв.

IP-сети, компьютерная телефония, проектирование сетей

связи

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра радиоуправления и связи Рязанского государственного радиотехнического университета (зам. зав. кафедрой В. В. Езерский)

Современные интеллектуальные сети связи

Составитель Дмитриев Владимир Тимурович

Редактор И. В. Черникова

Корректор С. В. Макушина

Подписано в печать 29.04.22. Формат бумаги 60х84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 3,0.

Тираж 50 экз. Заказ 4102.

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Исследование VoIP-сети с использованием DNS-сервера на базе программы Cisco Packet Tracer

Цель работы

Ознакомиться с особенностями построения и составом VoIP-сети. Получить навыки работы с программой проектирования VoIP-сети.

1. Теоретическая часть IP-телефония

VoIP (передача голоса по IP-протоколу) или IP-телефония - это технология, которая обеспечивает передачу голоса в сетях с пакетной коммутацией по протоколу IP, частным случаем которых являются сети Интернет, а также другие IP-сети (например, выделенные цифровые каналы). Для связи сети Интернет (IP-сети) с телефонной сетью общего пользования PSTN, которая относится к глобальным сетям с коммутацией каналов, используются специальные аналоговые VoIP-шлюзы. Сети Интернет через цифровые шлюзы VoIP связаны с цифровыми телефонными сетями ISDN (цифровая сеть связи с комплексными услугами). Кроме того, интеграция VoIP в сети сотовой связи является практически неизбежным процессом. Эта интеграция обеспечит более низкую, по сравнению с традиционной сотовой телефонией, стоимость разговоров.

Голосовой сигнал из канала VoIP может непосредственно поступать на IP-телефон, подключенный к IP-сети, или маршрутизироваться на мобильный телефон мобильного оператора. Возможен вариант, когда голосовой сигнал поступает на аналоговый телефон, подключенный к обычной телефонной сети PSTN, или на цифровой телефонный аппарат, подключенный к цифровой сети с интеграцией услуг ISDN.

IP-телефония обеспечивает передачу голосовых сигналов с компьютера на компьютер, с компьютера на телефон (аналоговый телефон, цифровой телефон, IP-телефон, мобильный телефон) и с телефона на телефон. Звонки осуществляются через провайдера услуг VoIP. Качество передачи голоса зависит от VoIP-провайдера и способа подключения к Интернету.

Одно из преимуществ IP-телефонии - это экономия финансовых средств на ведение международных и междугородных телефонных переговоров за счет того, что значительную часть расстояния между абонентами голосовой сигнал в цифровом виде (в

сжатом состоянии) проходит по сетям пакетной коммутации (по сети Интернет), а не по телефонным сетям с коммутацией каналов. В настоящее время IP-телефония обеспечивает самые дешевые или бесплатные междугородные и международные звонки, для этого необходимо только оплатить использованный трафик Интернет-провайдеру.

Сети с коммутацией пакетов эффективно используют сеть PSTN, так как пакеты передаются по разделяемой среде (общему для всех разговоров каналу передачи данных). Коммутация пакетов — это коммутация сообщений, представляемых в виде адресуемых пакетов, когда канал передачи данных занят только во время передачи пакета и по ее завершении освобождается для передачи других пакетов. Таким образом, паузы в IP-сетях не оплачиваются, поэтому передача голоса по IP-сетям дешевле, чем по сетям PSTN.

Как следует из схемы сети на рис. 1.1, абоненты разных городов с обычных телефонов, подключенных к городской сети, могут общаться между собой через международную телефонную сеть или сеть Интернет. Но стоимость переговоров через Интернет значительно ниже, чем через международную телефонную сеть.

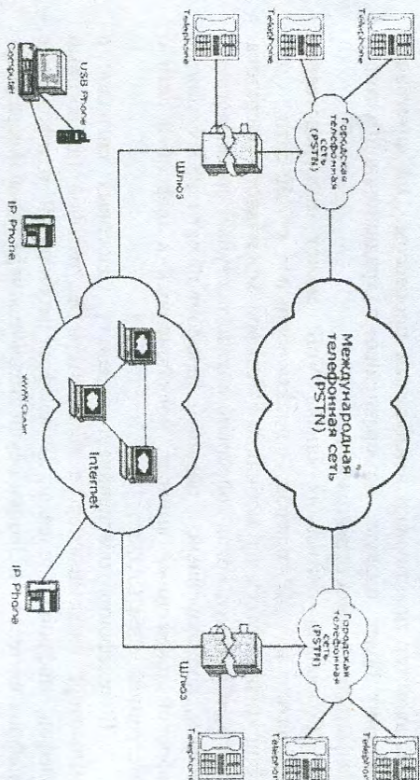


Рис. 1.1. Упрощенная схема сети со шлюзами

В настоящее время существуют следующие VoIP-сервисы. IP-телефония по карточкам, которые продаются в магазинах для

звонков с обычного телефона; компьютерная VoIP (IP-телефония), в которой используется специальная программа, работающая на ПК (программный телефон VoIP; телефонная VoIP (IP-телефония), в которой обычный телефонный аппарат подключается к специальному адаптеру, имеющему выход в Интернет, или в которой IP-телефоны (аппаратные VoIP-телефоны) подключаются к Интернету через провайдера [1].

Сеть Интернет построена на основе стека протоколов TCP/IP. Каждый терминал в сети Интернет согласно стеку протоколов TCP/IP имеет адреса трех уровней [4, 5].

Физический (MAC-адрес) — локальный адрес узла, определяемый технологией, с помощью которой построена отдельная сеть, в которую входит данный узел. Для узлов, входящих в локальные сети, — это MAC-адрес сетевого адаптера или порта маршрутизатора, например 11-A0-17-3D-BC-01. Эти адреса назначаются производителями оборудования и являются уникальными адресами, так как управляются централизованно. Для всех существующих технологий локальных сетей MAC-адрес имеет формат 6 байтов: старшие 3 байта — идентификатор фирмы производителя, а младшие 3 байта назначаются уникальным образом самим производителем. Для узлов, входящих в глобальные сети, включая X.25 или frame relay, локальный адрес назначается администратором глобальной сети [4].

Сетевой (IP-адрес), состоящий из 4 байт, например 109.26.17.100. Этот адрес используется на сетевом уровне. Он назначается администратором во время конфигурирования компьютеров и маршрутизаторов. IP-адрес состоит из двух частей: номера сети и номера узла. Номер сети может быть выбран администратором произвольно или назначен по рекомендации специального подразделения Интернет, если сеть должна работать как составная часть Интернет. Обычно провайдеры услуг Интернет получают диапазоны адресов у подразделений NIC, а затем распределяют их между своими абонентами [4].

Номер узла в протоколе IP назначается независимо от локального адреса узла. Деление IP-адреса на поле номера сети и номера узла — гибкое, и граница между этими полями может устанавливаться произвольно. Узел может входить в несколько IP-сетей. В этом случае узел должен иметь несколько IP-адресов по числу сетевых связей. Таким образом, IP-адрес характеризует не отдельный компьютер или маршрутизатор, а одно сетевое соединение [4].

Символьный (DNS-имя) — идентификатор-имя, например

SERVER1.BWM.COM. Этот адрес назначается администратором и состоит из нескольких частей, например имени машины, имени организации, имени домена. Такой адрес, называемый также DNS-именем, используется на прикладном уровне, например в протоколах FTP или telnet [4].

IP-адрес имеет длину 4 байта и обычно записывается в виде четырех чисел, представляющих значения каждого байта в десятичной форме и разделенных точками, например: 128.10.2.30 — традиционная десятичная форма представления адреса, 10000000 00001010 00000010 00011110 — двоичная форма представления этого же адреса. На рис. 1.2 показана структура IP-адреса [4].

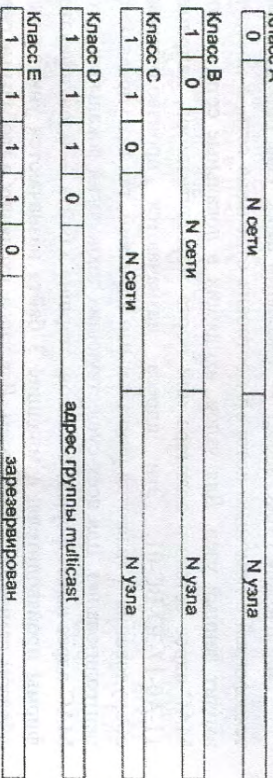


Рис. 1.2. Структура IP-адреса

1.1. Программа Cisco Packet Tracer

Программное решение Cisco Packet Tracer позволяет имитировать работу различных сетевых устройств: маршрутизаторов, коммутаторов, точек беспроводного доступа, персональных компьютеров, сетевых принтеров, IP-телефонов и т.д. Работа с интерактивным симулятором дает весьма удобное ощущение настройки реальной сети, состоящей из десятков или даже сотен устройств.

Настройки, в свою очередь, зависят от характера устройств: одни можно настроить с помощью команд операционной системы Cisco IOS, другие — за счет графического веб-интерфейса, третьи — через командную строку операционной системы или графическое меню. Благодаря такому свойству Cisco Packet Tracer, как режим визуализации, пользователь может отслеживать перемещение данных по сети, появление и изменение параметров IP-пакетов при прохождении данных через сетевые устройства, скорость и пути перемещения IP-пакетов (рис. 1.3.) Анализ событий, происходящих в сети, позволяет понять механизм ее работы и обнаружить неисправности.

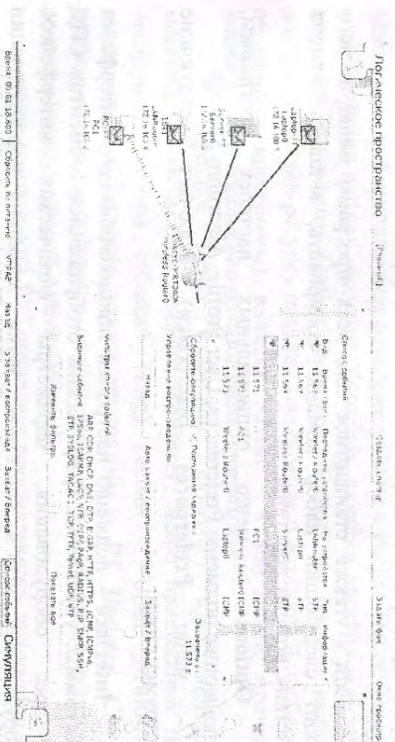


Рис. 1.3. Режим визуализации

С помощью Cisco Packet Tracer пользователь может симулировать построение не только логической, но и физической модели сети и, следовательно, получать навыки проектирования.

Симуляция, визуализация, многопользовательский режим и возможность проектирования делают Cisco Packet Tracer уникальным инструментом для обучения сетевым технологиям.

1.2. Интерфейс программы

Интерфейс эмулятора сети передает данные интуитивно прост. Как и все программные оболочки, интерфейс включает в себя рабочее поле (Work space), которое состоит из логической и физической областей. Данная формулировка подразумевает, что программа позволяет создавать СПД с привязкой к логической схеме сети (структура сети типа «кольцо», «точка-точка», «точка-многоточка», «звезда» и др.) и с привязкой к конкретной местности (город, район, поселок), объекту (офисное здание, жилой дом), помещению (серверная, офис, квартира, монтажная стойка или шкаф). Однако наиболее часто построение сети начинается с логической области (скелетный проект СПД), а при ее успешном завершении сеть переносится на физическую область (ситуационный план СПД).

Основным инструментом управления эмулятором является контекстное меню, содержащее **командные меню File, Edit, Options, View, Tools, Extensions, Help**:

- Меню **File** включает стандартный набор команд: создание нового

документа, сохранить как, печать, библиотека документов, выход;

- **Edit** – также стандартное для всех программ меню, в него входит следующий набор команд: копировать, вставить, отмена действия, возврат действия;

- **Options** – меню опциональных настроек программы, включающее подменю Preferences, User Profile, Algorithm Settings;

- меню **Preferences** (настройки) включает следующие инструменты:

- **Interface** – подменю настройки пользовательского интерфейса программы: управление графическим отображением элементов СДП (IP-адрес оборудования, параметры физических интерфейсов оборудования, vlan's, системные звуки, анимация маршрутизации пакетов, включение отображения параметров соединительной линии и т.д.);

- **Administrative** – меню безопасности (настройки безопасности программ: блокировка изменения пользовательских настроек с помощью пароля);

- **Hide** – еще одно административное меню, предназначенное в большей степени преподавателям, с помощью которого можно скрыть от обучающего некоторые настройки (например, для выполнения лабораторных работ последовательной тематики);

- **Font** – инструментальный настройки шрифтов (тип, размер, цвет и т.д.);

- меню **User Profile** – инструментальный изменения пользовательских настроек (программа поддерживает многопользовательский режим);

- меню **Algorithm Settings** – инструментальный сценария созданной СДП (число коммутируемых и возможных соединений, ГВЗ);

- меню **View** – меню «Вид» - также же стандартное, как и для всех программных оболочек, включает инструменты **Zoom** (масштаб поля) и **Toolbars** (вкл/выкл панелей);

- меню **Tools** – панель инструментов рисования (**Drawing Palette**), **Custom Devices Dialog** – диалоговое окно выбора созданного сетевого элемента. С помощью панели рисования можно создавать определенные области в логическом поле и ситуационные объекты в физическом поле;

- меню **Help** состоит из подменю **Contents**, которое построено в формате HTML-страницы и оформлено в виде структурированного

интерактивного руководства с понятным графическим интерфейсом. В нем можно найти пошаговое описание работы в Packet Tracer. Также в меню помощи входит подменю **Tutorials**, вкладки доступа к онлайн-ресурсам программы **Online Resources**, **Report on Issue** – вкладка доступа к онлайн-ресурсу помощи (сообщение о возникшей проблеме, об ошибке программы), вкладка **About** – в ней можно прочесть лицензионное сообщение пользователя программы;

- расширенное меню **Extensions** включает инструментальный многопользовательского режима **Multituser**, меню приложений ПРС, инструмент обзора событий (**Log**) сессии – **PT Updater**. Самым значимым для преподавательской деятельности и обучения аудитории является инструментальный **Activity Wizard**.

- меню приложений ПРС позволяет просматривать загруженные и встроенные приложения Cisco Packet Tracer, удалять существующие, производить конфигурирование параметров приложений, загружать новые приложения.

1.3. Оборудование и линии связи в Cisco Packet Tracer

1.3.1. Маршрутизаторы

Маршрутизаторы используются для поиска оптимального маршрута передачи данных на основании специальных алгоритмов маршрутизации, например выбор маршрута (пути) с наименьшим числом транзитных узлов.

Меню содержит: маршрутизаторы (рис. 1.4) Cisco Systems 1841, 2620XM, 2621XM, 2811, Genetec (сборный) [2,3].



Рис. 1.4. Меню маршрутизаторов

1.3.2. Коммутаторы

Коммутаторы – это устройства, работающие на канальном уровне модели OSI и предназначенные для объединения нескольких узлов в пределах одного или нескольких сегментов сети. Коммутатор передаёт пакеты на основании внутренней таблицы – таблицы коммутации, следовательно, трафик идёт только на тот MAC-адрес,

которому он предназначается, а не повторяется на всех портах (как на концентраторе) [3].

Меню содержит: коммутаторы (рис. 1.5) Cisco Systems 2950-24, 2950T, 2960, 3560-24PS, Genetec.



Рис. 1.5. Меню коммутаторов

1.3.3. Концентраторы

Концентратор повторяет пакет, принятый на одном порту, на всех остальных портах. Работает на первом (физическом) уровне сетевой модели OSI, ретранслируя входящий сигнал с одного из портов в сигнал на все остальные (подключённые) порты, реализуя, таким образом, свойственную Ethernet топологию «общая шина» с разделением пропускной способности сети между всеми устройствами и работой в режиме полудуплекса [3]. Меню содержит: концентратор, репитер и коаксиальный сплиттер (рис. 1.6).

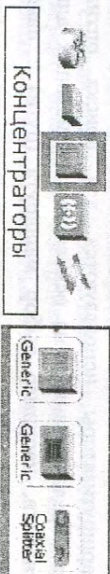


Рис. 1.6. Меню концентраторов

1.3.4. Конечные устройства

Здесь представлены: ПК, ноутбук, сервер, телевизор, телефон, IP-коммутатор, беспроводной планшет, коммуникатор, беспроводные точки доступа, VoIP устройства [3] (рис. 1.7).

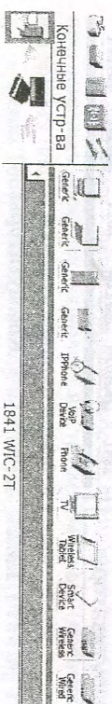


Рис. 1.7. Меню конечных устройств

1.3.5. Беспроводные устройства

Меню содержит: Wi-Fi роутер, LinkSYS, WRT-300N, беспроводные роутеры (рис. 1.8).

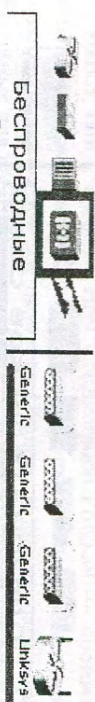


Рис. 1.8. Меню беспроводных устройств

1.3.6. Линии связи

Меню содержит: консоль, медный прямой, медный кроссовер, оптический, телефонный, коаксиальный, серийный DCE (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Меню линий связи

Для лабораторной работы будет необходимо использовать два типа кабеля: телефонный и медный прямой. Характеристики данных кабелей связи приведены в табл. 1.1. С помощью этих компонентов создаются соединения узлов в единую схему. Каждый тип кабеля может быть соединен лишь с определенными типами интерфейсов.

Таблица 1.1. Характеристика кабелей

Тип кабеля	Описание
Медный прямой	Этот тип кабеля является стандартной средней передачей Ethernet для соединения устройств, которые функционируют на разных уровнях OSI. Он должен быть соединен со следующими типами портов: медный 10 Мбит/с (Ethernet), медный 100 Мбит/с (Fast Ethernet) и медный 1000 Мбит/с (Gigabit Ethernet)
Телефонный	Соединение через телефонную линию может быть осуществлено только между устройствами, имеющими модемные порты. Стандартное представление модемного соединения - это конечное устройство (например, ПК), дозванивающееся в сетевое облако

Пользовательские соединения

Устройства можно комплектовать самостоятельно. Возможно создавать произвольные подключения (рис. 1. 10).

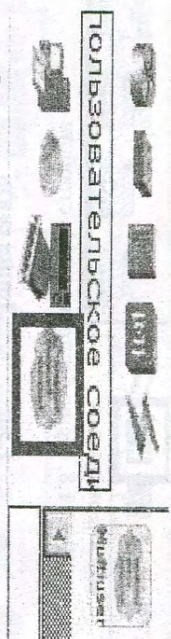
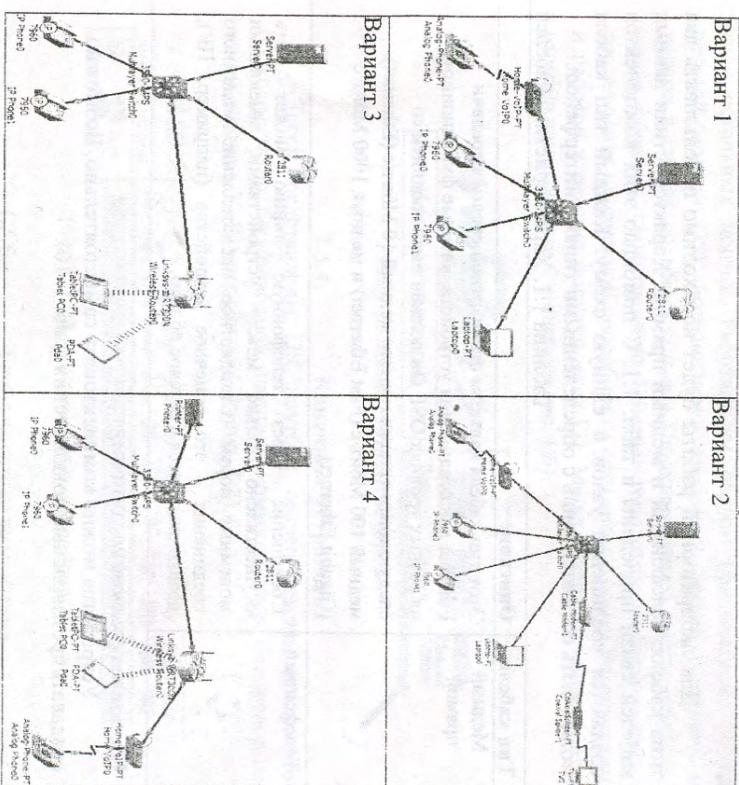


Рис. 1.10. Меню пользовательских соединений

2. Задание

Выбрать по заданию преподавателя один из вариантов VoIP сетей, предложенных в табл. 1.2, с использованием DHCP-сервера [3].

Таблица 1.2. Варианты схем VoIP сетей



DHCP (англ. Dynamic Host Configuration Protocol) — протокол динамической настройки узла) — сетевой протокол, позволяющий компьютерам автоматически получать IP-адрес и другие параметры, необходимые для работы в сети TCP/IP. Данный протокол работает по модели «клиент-сервер». Для автоматической конфигурации компьютер-клиент на этапе конфигурации сетевого устройства обращается к серверу DHCP и получает от него нужные параметры.

Сетевой администратор может задать диапазон адресов, распределяемых сервером среди компьютеров. Это позволяет избежать ручной настройки компьютеров сети и уменьшает количество ошибок. Протокол DHCP используется в большинстве сетей TCP/IP.

В первом варианте рассматривается стандартная сеть VoIP, которую можно встретить в маленьком офисе.

Во втором варианте рассматривается сеть VoIP с добавлением IP-TV.

В третьем варианте рассматривается сеть с добавлением Wi-Fi роутера и двух гаджетов.

В четвертом варианте рассматриваются различные способы соединения сети VoIP с различными аппаратами.

В данных вариантах сетей используется маршрутизатор 2811, так как он обеспечивает значительный прирост производительности, новые интегрированные сервисы и значительно увеличивает плотность интерфейсов при сохранении обратной совместимости с более чем 90 существующими на сегодня модулями.

Коммутатор 3560-24PS идеально подходит для организации, использующим сетевую инфраструктуру для внедрения новых продуктов, например IP-телефонов, точек радиодоступа, систем управления зданием, видеосамер.

3. Практическая часть

1. Ознакомиться с теорией по проектированию сетей IP-телефонии.

2. Запустить на рабочем столе программу Cisco Packet Tracer.

3. В меню оборудования и линий связи щелкнуть левой кнопкой на меню маршрутизаторов, в нем выбрать маршрутизатор 2811, щелкнуть левой кнопкой мыши на данном маршрутизаторе и перенести его в рабочую область.

4. В меню коммутаторов выбрать многоуровневый коммутатор 3560-24PS, также, как и маршрутизатор, перенести его в рабочую область.

5. В меню конечных устройств выбрать сервер, ноутбук, 2 IP-телефона, аналоговый телефон, VoIP-устройства (VoIP Device), по аналогии с маршрутизатором и коммутатором перенести данные элементы на рабочую область.

6. Расположить элементы сети на рабочем пространстве так, чтобы можно было провести кабели от "Switch" (коммутатор) ко всем устройствам схемы (между собой элементы не соединяются).

7. Для соединения между элементами выбрать в меню линии связи медный прямой кабель.

8. Щелкнуть левой кнопкой мыши на выбранном кабеле и перенести его к "Switch" и щелкнуть по нему, в появившемся окошке выбрать свободный порт (рис. 1.11). Далее порты выбираются по мере возрастания.

9. Соединить "Switch" с сервером. При соединении с сервером появится окно, в нем выбрать "FastEthernet" (общее название для набора стандартных передачи данных в компьютерных сетях по технологии Ethernet со скоростью до 100 Мбит/с).

10. По аналогии с предыдущим пунктом соединить остальные устройства с "Switch". Соединять напрямую "Switch" с аналоговым телефоном нельзя, нужен преобразователь. Для этого аналоговый телефон с помощью телефонного кабеля (много линий связи) соединить с VoIP-устройством. Далее VoIP-устройство с помощью медного прямого кабеля соединить с "Switch".

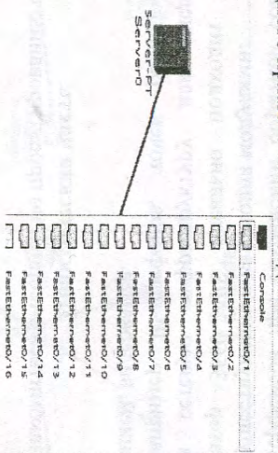


Рис. 1.11. Выбор свободного порта при соединении медным кабелем

11. После того как соединения были установлены, необходимо настроить все устройства сети.

12. Щелкнуть левой кнопкой мыши на "Server-PT", в открывшемся окне выбрать вкладку "Config", нажать на параметр "INTERFACE" и выбрать "FastEthernet". В данном разделе прописать IP-адрес и маску подсети (рис. 1.12), например: IP-адрес - IP-1.1.1.1, а маска подсети записывается как 255.0.0.0.

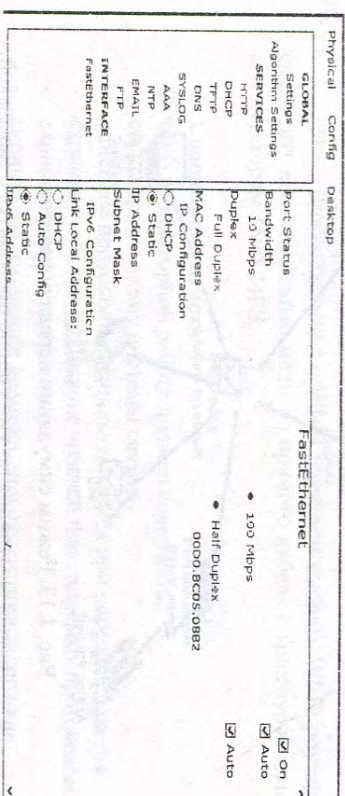


Рис. 1.12. Окно настройки сервера

13. Аналогично предыдущему пункту настроить "Router".

14. Щелкнуть левой кнопкой мыши на "Router", в открывшемся окне выбрать вкладку "Config", нажать на параметр "INTERFACE" и выбрать "FastEthernet" 0/0. В данном разделе прописать IP-адрес и маску подсети. IP-адрес и маску подсети можно прописать, например: IP-1.1.1.10, а маска подсети записывается как 255.0.0.0.

15. Остальные устройства будут настроены автоматически.

16. Режим симуляции запустить нажатием Shift+S.

17. В открывшемся окне "Event list" нажать на "Auto Capture/play" и проследить движение пакетов по сети.

18. Для просмотра содержимого пакета и того, что с ним происходит, щелкнуть два раза левой кнопкой мыши на меню "Info" определённого цвета (в окне "Event list"), каждый квадрат - это отдельный пакет, в зависимости от того, какого цвета переданный пакет, таким же цветом будет "Info" (рис. 1.13). Записать, какие протоколы [3] для передачи пакетов используются (подраздел Type).

19. После выбора "Info" откроется окно (рис. 1.14). В первой вкладке "OSI model" можно посмотреть, на каком из семи уровней модели OSI данный протокол задействован, а во второй вкладке

“Output PDU Details” можно посмотреть, из чего состоит пакет. Ознакомившись и отразить в отчете, на каком из семи уровней какой протокол используется. Сделать скриншоты структуры пакета.

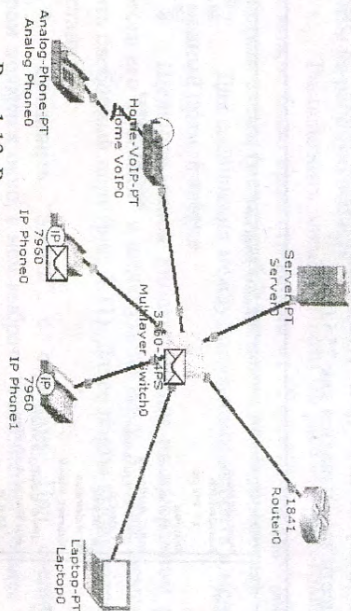


Рис. 1.13. Режим симуляции передачи пакетов

20. Данная симуляция по умолчанию проводится с задержкой,

чтобы убрать задержку, необходимо убрать галочку с “constant delay”.

21. Время передачи пакетов можно посмотреть в окне "Event list" в разделе "Time". Записать в отчет изменения времени передачи по сети пакетов при задержке и без задержки.

22. На основании пунктов, приведенных выше, собрать остальные варианты схем.

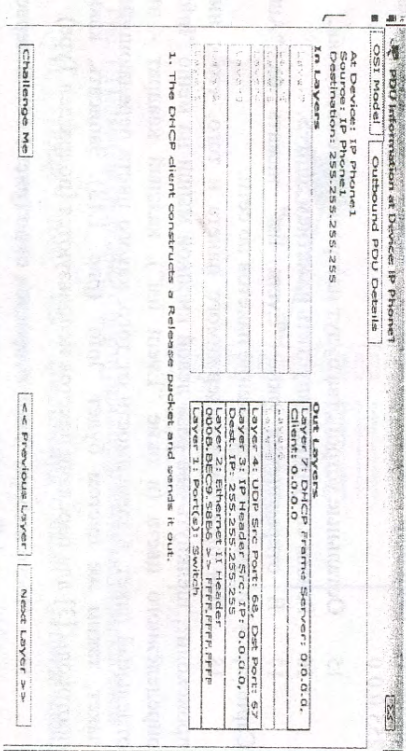


Рис. 1.14. Анализ семиуровневой модели OSI

23. Для соединения IP-TV выбрать "Cable-Modem-RT" и перенести на рабочую область, соединить с помощью мелкого прямого кабеля с многоуровневым коммутатором 3560 24PS. Далее "Cable-Modem-RT" соединить с "Coaxial Splitter-RT" и с TV-RT с помощью коаксиального кабеля.

24. Для соединения с Wi-Fi роутером выбрать Wi-Fi роутер и соединить его с помощью медного прямого кабеля с многоуровневым коммутатором 3560 24PS.

4. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- структурную схему системы связи;
- описание протоколов, используемых при передаче пакетов;
- скрипшот вкладки и описание уровней используемых протоколов;
- скрипшот структуры пакета;
- скрипшоты изменения времени, при отсутствии задержки.

5. Контрольные вопросы

1. Какие основные особенности построения сетей IP-телефонии?
2. За счет чего обеспечивается большая экономичность передаче голосового трафика в сетях IP-телефонии?
3. Показать приуровня сетевых адресов.
4. Перечислить основные VoIP-сервисы.
5. Объяснить структуру IP-адреса.

Библиографический список

1. Рослякова А.В., Самсонов М.Ю., Шибарева И.В. IP-телефония. - М.: Эко-Трендз, 2003.-252 с.
2. Хабракер Джо. Как работать с маршрутизатором Cisco: пер. с англ. - М.: ДМК Пресс, 2005.-320 с.
3. Амато, Вито. Основы организации сетей Cisco. Т. 1.2.: пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2002.-512 с.
4. Васин Н.Н. Сети и системы передачи информации на базе коммутаторов и маршрутизаторов CISCO: учеб. пособие. - Самара: ИТАПИ, 2008.-230 с.
5. <http://www.intuit.ru/>.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Проектирование IP-сети связи на основе АТС Asterisk

Цель работы

Изучение теоретических основ сетей IP-телефонии и протокола управления сессиями SIP. Получение практических навыков работы с программной IP-АТС Asterisk, а также опыта настройки IP-телефонов.

1. Теоретическая часть

1.1. IP-телефония

В настоящее время IP-телефония (Voice over Internet Protocol) широко используется как частными пользователями, так и предприятиями, организациями в корпоративном секторе. Голосовая и видеосвязь, использующая протокол IP, стала популярна во всем мире с начала XXI века. IP-телефония все больше вытесняет традиционные телефонные сети за счет легкости развертывания, низкой стоимости звонка, простоты конфигурирования, высокого качества связи и сравнительной безопасности соединения, использования уже проложенных линий связи Ethernet.

Архитектура протокола TCP/IP строится на основе принципов эталонной модели OSI (Open Systems Interconnection). Основная предпосылка использования VoIP – пакетирование аудиопотоков для транспортировки по сетям, использующим протокол IP. Сигнал должен не только поступить в той же форме, в какой был передан, но его транспортировка должна занять не более 150 мс.

Процесс разговора и прослушивания состоит из ретрансляции потока аудиосигналов, тогда как сетевые протоколы разработаны так, что они все разбивают аудиосигналы на части, закладывают единицы информации в тысячи пакетов и затем доставляют каждый пакет на дальний конец линии связи любым возможным путем.

1.2. Протокол SIP

Существует множество протоколов VoIP. H.323 долгое время удерживал лидирующие позиции в сфере видеоконференцсвязи. Но в последнее время по статистике все большую популярность на рынке набирает протокол SIP, который уже поддержан многими крупными производителями, включая решения Polycom и Cisco [1].

Протокол инициирования сеансов - Session Initiation Protocol (SIP) является протоколом прикладного уровня и предназначается для организации, модификации и завершения сеансов связи:

мультимедийных конференций, телефонных соединений и распределения мультимедийной информации. Пользователи могут принимать участие в существующих сеансах связи, приглашать других пользователей и быть приглашенными ими к новому сеансу связи. Приглашения могут быть адресованы определенному пользователю, группе пользователей или всем пользователям. SIP независим от транспортных технологий, однако при установлении соединения предпочтительно использовать UDP.

Согласно архитектуре «клиент-сервер» все сообщения делится на запросы, передаваемые от клиента к серверу, и на ответы сервера клиенту. Например, чтобы инициировать установление соединения, вызывающий пользователь должен сообщить серверу ряд параметров, в частности, адрес вызываемого пользователя, параметры информационного канала и др. Эти параметры передаются в специальном SIP-запросе. От вызываемого пользователя к вызывающему передается ответ на запрос, также содержащий ряд параметров. Все сообщения протокола SIP (запросы и ответы) представляют собой последовательности текстовых строк, закодированных в соответствии с документом RFC 2279. На рис. 2.1 представлена структура сообщений протокола SIP.

Стартовая строка
Заголовок
Пустая строка
Тело сообщения

Рис. 2.1. Структура сообщений протокола SIP

Стартовая строка представляет собой начальную строку любого SIP сообщения. Если сообщение является запросом, в этой строке указываются тип запроса, адресат и номер версии протокола. Если сообщение является ответом на запрос, в стартовой строке указываются номер версии протокола, тип ответа и его короткая расшифровка, предназначенная только для пользователя.

Заголовки сообщений содержат сведения об отправителе, адресате, пути следования и др., в общем, переносят информацию, необходимую для обслуживания данного сообщения. О типе заголовка можно узнать по его имени. Оно не зависит от регистра (т.е. буквы могут быть прописные и строчные), но обычно имя пишут с большой буквы, за которой идут строчные.

Сообщения протокола SIP могут содержать так называемое тело сообщения. В запросах ACK, INVITE и OPTIONS тело сообщения содержит описание сеансов связи, например, в формате протокола SDP. Запрос BYE тела сообщения не содержит. С ответами дело обстоит иначе: любые ответы могут содержать тело сообщения, но содержимое тела в них бывает разным.

В протоколе SIP определено четыре вида заголовков:

- общие заголовки, присутствующие в запросах и ответах;
- заголовки содержания, переносящие информацию о размере тела сообщения или об источнике запроса (начинаются со слова «Content»);
- заголовки запросов, передающие дополнительную информацию о запросе;
- заголовки ответов, передающие дополнительную информацию об ответе. Заголовок содержит название, за которым, отделенное двоеточием, следует значение заголовка. В поле значения содержатся передаваемые данные.

Заголовок Call-ID - уникальный идентификатор сеанса связи или всех регистраций удаленного клиента, он подобен метке соединения (call reference) в сигнализации DSS-1. Значение идентификатору присваивает сторона, которая инициирует вызов. Заголовок Call-ID состоит из буквенно-числового значения и имени рабочей станции, которая привносила значение этому идентификатору. Между ними должен стоять символ @, например 101@elasticx.pl. Возможна следующая ситуация: к одной мультимедийной конференции относятся несколько соединений, тогда все они будут иметь разные идентификаторы Call-ID.

Заголовок To - определяет адресата. Кроме SIP-адреса, здесь может стоять параметр «tag» для идентификации конкретного терминала пользователя (например, домашнего, рабочего или сотового телефона) в том случае, когда все его терминалы зарегистрированы под одним адресом SIP URL.

Заголовок From - идентифицирует отправителя запроса; по структуре аналогичен полю To.

Cseq - уникальный идентификатор запроса, относящегося к одному соединению. Он служит для корреляции запроса с ответом на него.

Заголовок Via служит для того, чтобы избежать ситуаций, в которых запрос пойдет по замкнутому пути, а также для тех случаев, когда необходимо, чтобы запросы и ответы обязательно проходили по одному и тому же пути (например, в случае использования

межсетевое экрана - firewall). В заголовке Via указывается весь путь, пройденный запросом: каждый прокси-сервер добавляет поле со своим адресом.

Заголовок Content-Type определяет формат описания сеанса связи. Само описание сеанса, например в формате протокола SDP, включается в тело сообщения. Заголовок Content-Length указывает размер тела сообщения.

1.3. Запросы протокола SIP

В настоящей версии протокола SIP определено шесть типов запросов. Каждый из них предназначен для выполнения довольно широкого круга задач, что является явным достоинством протокола SIP, так как благодаря этому число сообщений, которыми обмениваются терминалы и серверы, сведено к минимуму. С помощью запросов клиент сообщает о текущем местоположении, приглашает пользователей принять участие в сеансах связи, модифицирует уже установленные сеансы, завершает их и т.д. Сервер определяет тип принятого запроса по названию, указанному в стартовой строке.

В той же строке в поле Request-URI указан SIP-адрес оборудования, которому этот запрос адресован. Содержание полей To и Request-URI может различаться, например в поле To может быть указан публикуемый адрес абонента, а в поле Request-URI - текущий адрес пользователя.

Запрос INVITE приглашает пользователя принять участие в сеансе связи. Он обычно содержит описание сеанса связи, в котором указывается вид принимаемой информации и параметры (список возможных вариантов параметров), необходимые для приема информации, а также может указываться вид информации, которую вызываемый пользователь желает передавать. В ответе на запрос типа INVITE указывается вид информации, которая будет приниматься вызываемым пользователем, и, кроме того, может указываться вид информации, которую вызываемый пользователь собираются передавать (возможные параметры передачи информации). В этом сообщении могут содержаться также данные, необходимые для аутентификации абонента, и, следовательно, доступа клиентов к SIP-серверу.

Запрос ACK подтверждает прием ответа на запрос INVITE. Следует отметить, что запрос ACK используется только совместно с запросом INVITE, т.е. этим сообщением оборудование вызывающего

пользователя показывает, что оно получило окончательный ответ на свой запрос INVITE.

Запрос CANCEL отменяет обработку ранее переданных запросов с теми же, что и в запросе CANCEL, значениями полей Call-ID, To, From и CSeq, но не влияет на те запросы, обработка которых уже завершена. Например, запрос CANCEL применяется тогда, когда прокси-сервер разноразножает запросы для поиска пользователя по нескольким направлениям и в одном из них его находит.

Запросом BYE оборудование вызываемого или вызывающего пользователя завершает соединение. Сторона, получившая запрос BYE, должна прекратить передачу речевой (мультимедийной) информации и подтвердить его выполнение ответом 200 OK.

При помощи запроса типа REGISTER пользователь сообщает свое текущее местоположение. В этом сообщении содержатся следующие поля:

- поле To содержит адресную информацию, которую надо сохранить или модифицировать на сервере;
- поле From содержит адрес инициатора регистрации;
- поле Contact содержит новый адрес пользователя, по которому должны передаваться все дальнейшие запросы INVITE;

• в поле Expires указывается время в секундах, в течение которого регистрация действительна.

Запросом OPTIONS вызываемый пользователь запрашивает информацию о функциональных возможностях терминального оборудования вызываемого пользователя. В ответ на этот запрос оборудование вызываемого пользователя сообщает требуемые сведения. Применение запроса OPTIONS ограничено теми случаями, когда необходимо узнать о функциональных возможностях оборудования до установления соединения. Для установления соединения запрос этого типа не используется. После испытаний протокола SIP в реальных сетях оказалось, что для решения ряда задач вышеуказанных шести типов запросов недостаточно. Поэтому возможно, что в протокол будут введены новые сообщения. Так, в текущей версии протокола SIP не предусмотрен способ передачи информации управления соединением или другой информации во время сеанса связи. Для решения этой задачи был предложен новый тип запроса - INFO. Он может использоваться в следующих случаях:

- для переноса сигнальных сообщений TFOIP или ISDN сетей между шлюзами в течение разговорной сессии;
- для переноса сигналов DTMF в течение разговорной сессии;

- для переноса биллинговой информации.

Рассмотрим в качестве примера типичный запрос типа INVITE (рис. 2.2).

```
INVITE sip: setvet@elastix.com SIP/2.0 Via: SIP/2.0/UDP setvet-elastix.com
From: Phone 1 <sip: 101@elastix.com> To: Phone 2 <sip: 102@elastix.com>
Call-ID: 102@setvet-elastix.com CSeq: 1
INVITE
Content-Type: application/sdp Content-Length: ...
v=0
o=elastix 53655765 2353687637 IN IP4 1.2&.3.4.5
C=IN IP4 setvet-elastix.com
m=audio 3456 RTP/AVP 0345
```

Рис. 2.2. Пример запроса INVITE

В этом примере пользователь Phone 1 (101@elastix.com) вызывает пользователя Phone 2 (102@elastix.com). Запрос передается к прокси-серверу (setvet@elastix.com). В полях To и From перед адресом стоит запись, которую вызывающий пользователь желает вывести на дисплей вызываемого пользователя. В теле сообщения оборудование вызывающего пользователя указывает в формате протокола SDP, что оно может принимать в порту 3456 речевую информацию, упакованную в пакеты RTP и закодированную по одному из следующих алгоритмов кодирования: 0 - PCMU, 3 - GSM, 4 - G.723 и 5 - DVI.

1.4. Установление соединения с участием прокси-сервера

Администратор сети сообщает адрес этого сервера пользователям. Вызывающий пользователь передает запрос INVITE (1) на адрес прокси-сервера и порт 5060, используемый по умолчанию (рис. 2.3).

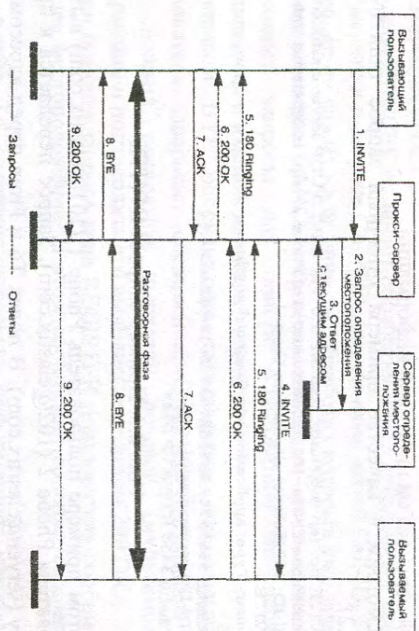


Рис. 2.3. Установление соединения с участием прокси-сервера

В запросе пользователь указывает известный ему адрес вызываемого пользователя. Прокси-сервер запрашивает текущий адрес вызываемого пользователя у сервера определения местоположения (2), который и сообщает ему этот адрес (3). Далее прокси-сервер передает запрос INVITE непосредственно вызываемому оборудованию (4). Опять в запросе содержатся данные о функциональных возможностях вызываемого терминала, но при этом в запрос добавляется поле Via с адресом прокси-сервера для того, чтобы ответы на обратном пути шли через него. После приема и обработки запроса вызываемое оборудование сообщает своему пользователю о входящем вызове, а встречной стороне передает ответ 180 Ringing (5), копируя в него из запроса поля To, From, Call-ID, CSeq и Via. После приема вызова пользователем встречной стороне передается сообщение 200 OK (6), содержащее данные о функциональных возможностях вызываемого терминала в формате протокола SDP. Терминал вызываемого пользователя подтверждает прием ответа запросом ACK (7). На этом фаза установления соединения закончена и начинается разговорная фаза. По завершении разговорной фазы одной из сторон передается запрос BYE (8), который подтверждается ответом 200 OK (9). Все сообщения проходят через прокси-сервер, который может модифицировать в них некоторые поля.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

В данной лабораторной работе изучается работа АТС Asterisk - программной АТС, которая представляет собой продукт с открытым исходным кодом для офисной телефонной станции с выходом в общую сеть. Приложение работает на операционных системах Linux, Windows, OpenBSD, OS X и др. Работа АТС основана на протоколах, обеспечивающих передачу голоса через сети, функционирующие на IP протоколе (VoIP). Используя недорогое (по меркам классических АТС) оборудование, Asterisk может работать практически с любым оборудованием для IP-телефонии, которое использует стандартные протоколы для VoIP.

Asterisk предоставляет функции голосовой почты (Voicemail), конференц-связи, интерактивного голосового меню (IVR), центра обработки вызовов и их обработки (Call Queuing). Она также имеет поддержку таких сервисов, как перевод вызовов другому абоненту, сервис определения и передачи вызываемому абоненту номера вызываемого абонента (callerID), протоколы ADSI, SIP, H.323 (как в режиме терминала, так и в режиме гейтования), MGCP (только для call manager) и SSCP/Skinnu (не полностью). Гибкость – основная причина, по которой Asterisk исключительно рентабельна для быстро растущего бизнеса: для нее не существует эффективного максимального или минимального размера, который следует учитывать при составлении сметы на покупку. Таким образом, стоимость такой АТС зависит от многих факторов (количество каналов, максимальное число одновременных соединений, есть ли конференц-связь, выбор кодека и т.д.).

В данной лабораторной работе используется платформа для унифицированных коммуникаций с открытым исходным кодом «Elastic», включающая IP-АТС Asterisk. Для удобства администрирования IP-АТС устанавливается на виртуальную машину. А также используются телефоны Linksys SPA9XX (рис. 2.4).

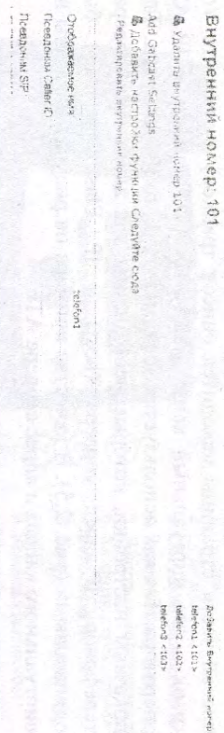


Рис. 2.6. Меню SIP внутреннего номера

3. Наведя курсором мыши на вопросительный знак рядом с параметрами, можно получить справку о том, какие функции они выполняют. Необходимыми пунктами настройки являются: номер абонента (записывается при первом добавлении SIP устройства), отображаемое имя и secret (пароль), показанный на рис. 2.7, для этого телефона.



Рис. 2.7. Продолжение меню внутреннего номера

4. Перейдите на вкладку Система. Нажмите на клавишу настройки, находящуюся на Р-телефоне, и с помощью навигационных клавиш выберите пункт Network. На дисплее отобразится действующий адрес телефона. Откройте новую вкладку в браузере и запишите его в адресную строку. А затем войдите в режим администратора, нажав на admin login (рис. 2.8).

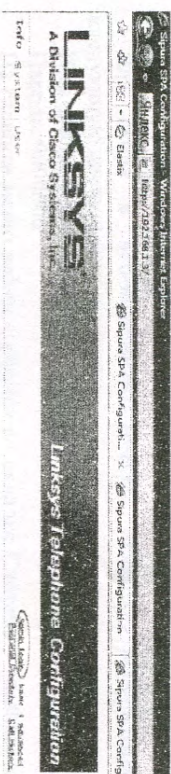


Рис. 2.8. Веб-интерфейс телефона

5. На вкладке Info описана общая информация о настройках IP-телефона. Перейдем в Ext 1 – настройку линий. В пункте Proxy вводятся адрес сервера, на котором установлена АТС. В полях Subscriber information вводятся: Display Name – имя, которое будет показываться на экране телефона при совершении звонка; User ID – внутренний номер, который присваивается данному телефону; Password – пароль, соответствующий User ID в IP-АТС «Elasticx» (123456) (рис. 2.9). Preferred Codec устанавливает один из кодеков, регулирующий сжатие цифрового голосового потока.

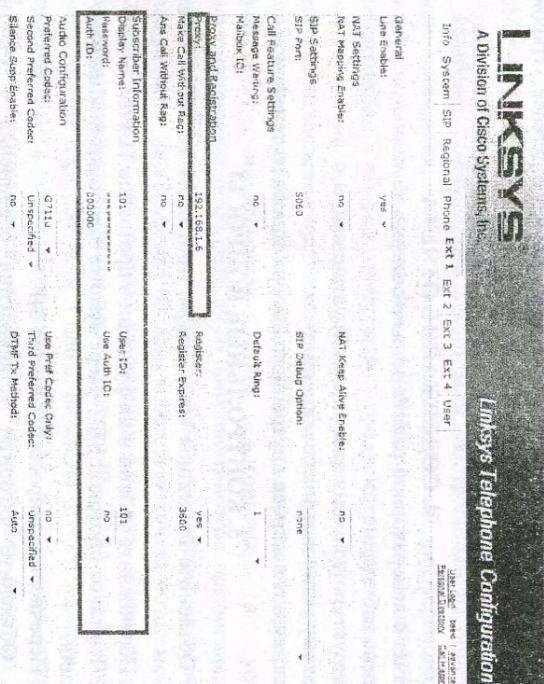


Рис. 2.9. Настройка линий

6. Обзовоните соседние телефоны лабораторного макета.

Позвоните с 101 телефона на 102 и с 103 на 102 (снимите трубку, наберите номер и нажмите навигационную клавишу Dial). С помощью клавиши переключения линий (4) на 102 можно отпечатать и ставить в режим ожидания другую линию. Навигационная клавиша Did переводит телефон в режим «не беспокоить».

7. Организуйте режим конференции IP-АТС Asterisk.

По номеру, определенному в IP-АТС (6099), войти с каждого телефона, используя PIN-код 123 (рис. 2.10).

Изучение теоретических основ сетей IP-телефонии; кодексов, используемых в телефонной связи. Получение навыков работы с алгоритмом объективной оценки качества речевых сигналов PESQ программой для изучения действия шумов в канале связи на основные кодексы речи Vocoder.

1.1. Алгоритм кодирования

Наиболее совершенным алгоритмом, построенным на описанных выше принципах, является алгоритм адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (АДИКМ), предложенный ITU-T в виде рекомендации G.726. Алгоритм предусматривает вычисление коэффициентов предсказания по корреляционной функции речевого сигнала, вычисление предсказанных отсчетов, формирование сигнала ошибки предсказания и его последующее адаптивное квантование. Существует модификация этого алгоритма, в которой информационные биты выходного цифрового потока организованы по иерархической схеме, что позволяет обрабатывать наименее значимую информацию, не уменьшая об этом кодер, и получать поток меньшей скорости за счет некоторого ухудшения качества. Стандарт G.726 специфицирует кодирование при скоростях 40, 32, 24 и 16 Кбит/с, что соответствует передаче 5, 4, 3 или 2 битов на отсчет. Качество речи, передаваемой с использованием АДИКМ G.726, при скорости 32 Кбит/с соответствует, а порой и превосходит качество речи, обеспечиваемое алгоритмом кодирования G.711. При достаточно хороших характеристиках алгоритма АДИКМ практически не применяется для передачи речи по сетям с коммутацией пакетов, так как этот алгоритм очень чувствителен к потерям целых блоков отсчетов, происходящим при передаче информации. В таких случаях нарушается синхронизация кодера и декодера, что приводит к катастрофическому ухудшению качества воспроизведения речи даже при малой вероятности потерь.

В первую очередь необходимо понять, какими критериями нужно руководствоваться при выборе «хорошего» кода для использования в IP-телефонии.

Изучение теоретических основ сетей IP-телефонии; кодексов, используемых в телефонной связи. Получение навыков работы с алгоритмом объективной оценки качества речевых сигналов PESQ программой для изучения действия шумов в канале связи на основные кодексы речи Vocoder.

1.1. Алгоритм кодирования

Наиболее совершенным алгоритмом, построенным на описанных выше принципах, является алгоритм адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (АДИКМ), предложенный ITU-T в виде рекомендации G.726. Алгоритм предусматривает вычисление коэффициентов предсказания по корреляционной функции речевого сигнала, вычисление предсказанных отсчетов, формирование сигнала ошибки предсказания и его последующее адаптивное квантование. Существует модификация этого алгоритма, в которой информационные биты выходного цифрового потока организованы по иерархической схеме, что позволяет обрабатывать наименее значимую информацию, не уменьшая при этом кодер, и получать поток меньшей скорости за счет некоторого ухудшения качества. Стандарт G.726 специфицирует кодирование при скоростях 40, 32, 24 и 16 Кбит/с, что соответствует передаче 5, 4, 3 или 2 битов на отсчет. Качество речи, передаваемой с использованием АДИКМ G.726, при скорости 32 Кбит/с соответствует, а порой и превосходит качество речи, обеспечиваемое алгоритмом кодирования G.711. При достаточно хороших характеристиках алгоритма АДИКМ практически не применяется для передачи речи по сетям с коммутацией пакетов, так как этот алгоритм очень чувствителен к потерям целых блоков отсчетов, происходящим при передаче информации. В таких случаях нарушается синхронизация кодера и декодера, что приводит к катастрофическому ухудшению качества воспроизведения речи даже при малой вероятности потерь.

В первую очередь необходимо понять, какими критериями нужно руководствоваться при выборе «хорошего» кода для использования в IP-телефонии.

1.2. Оценка качества

Скорость передачи, которую предусматривают имеющиеся сегодня узкополосные кодеки, лежит в пределах 1,2...64 Кбит/с. От этого параметра прямо зависит качество воспроизводимой речи. Существует множество подходов к проблеме определения качества.

Класс качества	Характеристика	Норма разборчивости, %
Высший	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	>80
I	Понимание передаваемой речи без затруднений	56-80
II	Понимание передаваемой речи с напряжением внимания без переспросов и повторений	41-55
III	Понимание передаваемой речи с некоторым напряжением внимания, редкими переспросами и повторениями	25-40
IV	Понимание передаваемой речи с большим напряжением, частыми переспросами и повторениями	<25

ГОСТ Р 50840-95 предполагает следующие оценки качества речи.

Наиболее широко используемый подход оперирует оценкой MOS (Mean Opinion Score), которая определяется для конкретного кодека как средняя оценка качества голоса большой группой слушателей по пятибалльной шкале. Для прослушивания экспертам предъявляются разные звуковые фрагменты - речь, музыка, речь на фоне различного шума и т.д. Оценки интерпретируют следующим образом:

- 4-5 - высокое качество, аналогично качеству передачи речи в ISDN или еще выше;
- 3,5-4 - качество ТФОП (full quality), аналогично качеству речи, передаваемой с помощью кодека АДИКМ при скорости 32 Кбит/с. Такое качество обычно обеспечивается в большинстве телефонных разговоров. Мобильные сети обеспечивают качество чуть ниже full quality;

- 3-3,5 - качество речи, по-прежнему, удовлетворительно, однако его ухудшение явно заметно на слух;
- 2,5-3 - речь разборчива, однако требует концентрации внимания для понимания. Такое качество обычно обеспечивается в системах

связи специального применения (например, в вооруженных силах). В рамках существующих технологий качество ТФОП (full quality) невозможно обеспечить при скоростях менее 5 Кбит/с.

1.3. Влияние преобразования РС на качество

Алгоритмы подавления пауз (VAD, CNG, DTX). При диалоге один его участник говорит в среднем только 35 процентов времени. Таким образом, если применить алгоритмы, которые позволяют уменьшать объем информации, передаваемой в периоды молчания, то можно значительно сузить необходимый полюс пропускания. В двустороннем разговоре такие меры позволяют достичь сокращения объема передаваемой информации до 50%, а в децентрализованных многоадресных конференциях (за счет большего количества говорящих) - и более. Нет никакого смысла организовывать многоадресные конференции с числом участников больше 5-6, не подавляя периоды молчания. Технологии подавления таких периодов имеет три важные составляющие. Нужно отметить, что определение границ пауз в речи очень существенно для эффективной синхронизации передающей и приемной сторон: приемник может, незначительно изменяя длительности пауз, производить подстройку скорости воспроизведения для каждого отдельного сеанса связи, что исключает необходимость синхронизации тактовых генераторов всех элементов сети, как это имеет место в ТФОП.

Детектор речевой активности (Voice Activity Detector - VAD) необходим для определения периодов времени, когда пользователь говорит. Детектор VAD должен обладать малым временем реакции, чтобы не допускать потерь начальных слов и не упускать бесполезные фрагменты молчания в конце предложений, в то же время детектор VAD не должен срабатывать от воздействия фоновых шумов. Детектор VAD оценивает энергию входного сигнала и, если она превышает некоторый порог, активизирует передачу. Если бы детектор отображал всю информацию до момента, пока энергия сигнала не стала выше порога, то произошло бы отрезание начальной части периода активности. Поэтому реализации VAD требуют сохранения в памяти нескольких миллисекунд информации, чтобы иметь возможность запустить передачу до начала периода активности. Это увеличивает в некоторой степени задержку прохождения сигнала, однако ее можно минимизировать или свести к нулю в кодерах, работающих с блоками отсчетов.

Поддержка прерывистой передачи (Discontinuous Transmission - DTX) позволяет кодеку прекратить передачу пакетов в тот момент,

когда VAD обнаружил период молчания. Некоторые наиболее совершенные кодеки не прекращают передачу полностью, а переходят в режим передачи гораздо меньшего объема информации (интенсивность, спектральные характеристики), нужной для того, чтобы декодер на удаленном конце мог восстановить фоновый шум.

Генератор комфортного шума (Comfort Noise Generator - CNG) служит для генерации фонового шума. В момент, когда в речном активном участнике беседа начинается период молчания, терминалы слушающих могут просто отключить воспроизведение звука. Однако это было бы неразумно. Если в трубке возникает «требовая тишина», т.е. фоновый шум (шум улицы и т.д.), который был слышен во время разговора, внезапно исчезает, то слушающему кажется, что соединение по каким-то причинам нарушилось, и он обычно начинает спрашивать, слышит ли его собеседник.

Генератор CNG позволяет избежать таких неприятных эффектов. Простейшие кодеки просто прекращают передачу в период молчания, и декодер генерирует какой-либо шум с уровнем, равным минимальному уровню, отмеченному в период речевой активности. Более совершенные кодеки (G.723.1 Annex A, G.729 Annex B) имеют возможность предоставлять удаленному декодеру информацию для восстановления шума с параметрами, близкими к фактически наблюдавшимся.

Большинство укопюловных кодеков обрабатывает речевую информацию блоками, называемыми кадрами, и им необходимо произвести предварительный анализ отсчетов, следующих непосредственно за отсчетами в блоке, который они в данный момент кодируют. Размер кадра важен, так как минимальная теоретически достижимая задержка передачи информации (алгоритмическая задержка) определяется суммой этого параметра и длины буфера предварительного анализа. В действительности процессоры цифровой обработки сигналов, которые выполняют алгоритм кодирования, имеют конечноую производительность, так что реальная задержка сигнала является больше теоретической. Можно, казалось бы, заключить, что кодеки с меньшим размером кадра лучше в смысле такого важного критерия как минимизация задержки. Однако если учесть, что происходит при передаче информации по сети, то мы увидим, что к кадру, сформированному кодом, добавляется множество дополнительной информации – заголовки IP (20 байтов), UDP (8 байтов), RTP (12 байтов). Для кодека с длительностью кадра 30 мс посылка таких кадров по сети привела бы к передаче избыточной

информации со скоростью 10,6 Кбит/с, что превышает скорость передачи речевой информации у большинства укопюловных кодеков. Поэтому обычно используется пересылка нескольких кадров в пакете, при этом их количество ограничено максимально допустимой задержкой. В большинстве случаев в одном пакете передается до 60 мс речевой информации. Чем меньше длительность кадра, тем больше кадров приходится упаковывать в один пакет, т.е. задержка определяется вовсе не длиной кадра, а практически приемлемым объемом полезной нагрузки в пакете. Кроме того, кодеки с большей длиной кадра более эффективны, так как здесь действует общий принцип: чем больше наблюдается явление (речевой сигнал), тем лучше оно может быть смоделировано.

Потери пакетов являются неотъемлемым атрибутом IP-сетей. Так как пакеты содержат кадры, сформированные кодом, то это вызывает потери кадров. Но потери пакетов и потери кадров не обязательно напрямую связаны между собой, так как существуют подходы (такие как применение кодов с исправлением ошибок – forward error correction), позволяющие уменьшать число потерянных кадров при данном числе потерянных пакетов. Требуящаяся для этого дополнительная служебная информация распределяется между несколькими пакетами, так что при потере некоторого числа пакетов кадры могут быть восстановлены. Однако положительный эффект от введения избыточности для борьбы с потерями пакетов не столь легко достичь, поскольку потери в IP-сетях происходят пакетами, т.е. значительно более вероятно то, что будет потеряно сразу несколько пакетов подряд, чем то, что потерянные пакеты распределяются в последовательности переданных пакетов по одному. Так что если применять простые схемы введения избыточности (например, повторять каждый кадр в двух последовательно передаваемых пакетах), то в реальных условиях они хотя и увеличат объем избыточной информации, но, скорее всего, окажутся бесполезными.

Кроме того, введение избыточности отрицательно сказывается на задержке воспроизведения сигнала. Например, если повторить один и тот же кадр в четырех пакетах подряд, чтобы обеспечить возможность восстановления информации при потере трех подряд переданных пакетов, то декодер вынужден поддерживать буфер из четырех пакетов, что вносит значительную дополнительную задержку воспроизведения. Влияние потерь кадров на качество воспроизводимой речи зависит от используемого кодека. Если потеря кадр, состоящий из N речевых отсчетов кодека G.711, то на приемном

конце будет отмечен пропуск звукового фрагмента длительностью $M \cdot 125$ мкс. Если используется более совершенный узкополосный кодек, то потеря одного кадра может сказаться на воспроизведении нескольких следующих, так как декодеру потребуется время для того, чтобы достичь синхронизации с кодером - потеря кадра длительностью 20 мс может привести к слышимому эффекту в течение 150 мс и более. Кодеки типа G.723.1 разработаны так, что они функционируют без существенного ухудшения качества в условиях некоррелированных потерь до 3 % кадров, однако при превышении этого порога качество ухудшается катастрофически.

1.4. Кодеки

Кодек G.711 - «дедушка» всех цифровых кодексов речевых сигналов, был одобрен ИТУ-T в 1965 году. Применяемый в нем способ преобразования аналогового сигнала в цифровой с использованием полугратифицированной шкалы квантования был достаточно подробно описан выше. Типичная оценка MOS составляет 4.2. В первую очередь отметим, что, как и для ТФОП, минимально необходимым для оборудования VoIP является ИКМ-кодирование G.711. Это означает, что любое устройство VoIP должно поддерживать этот тип кодирования.

Рекомендация G.723.1 утверждена ИТУ-T в ноябре 1995 года. Форум ITG выбрал кодек G.723.1 как базовый для приложений IP-телефонии. Кодек G.723.1 производит кадры длительностью 30 мс с продолжительностью предварительного анализа 7.5 мс. Предусмотрено два режима работы: 6.3 Кбит/с (кадр имеет размер 189 битов, дополненных до 24 байтов) и 5.3 Кбит/с (кадр имеет размер 158 битов, дополненных до 20 байтов). Режим работы может меняться динамически от кадра к кадру. Оба режима обязательны для реализации. Оценка MOS составляет 3.9 в режиме 6.3 Кбит/с и 3.7 в режиме 5.3 Кбит/с. Кодек специфицирован на основе операций как с плавающей точкой, так и с фиксированной точкой в виде кода на языке C. Реализация кодека на процессоре с фиксированной точкой требует производительности около 16 MIPS. Эти функции специфицированы в приложении A (Annex A) к рекомендации G.723.1. Параметры фонового шума кодируются очень маленькими кадрами размером 4 байта. Если параметры шума не меняются существенно, передана полностью прекадровая.

Алгоритм кодирования АДПКМ (рекомендация ИТУ-TG.726, принята в 1990 г.) описан выше. Он обеспечивает кодирование

цифрового потока G.711 со скоростью 40, 32, 24 или 16 Кбит/с, гарантируя оценки MOS на уровне 4.3 (32 Кбит/с), что часто принимается за эталон уровня качества телефонной связи (full quality). В приложениях IP-телефонии этот кодек практически не используется, так как он не обеспечивает достаточной устойчивости к потерям информации.

Кодек G.728 использует оригинальную технологию с малой задержкой LD-CELP (low delay code excited linear prediction) и гарантирует оценки MOS, аналогичные АДПКМ G.726 при скорости передачи 16 Кбит/с. Данный кодек специально разрабатывался как более совершенная замена АДПКМ для оборудования уплотнения телефонных каналов, при этом было необходимо обеспечить очень малую величину задержки (менее 5 мс), чтобы исключить необходимость применения эхокомпенсаторов. Это требование было успешно выполнено учеными Bell Labs в 1992 году: кодек имеет длительность кадра только 0.625 мс. Реально задержка может достигать 2.5 мс, так как декодер должен поддерживать синхронизацию в рамках структуры из четырех кадров. Недостатками алгоритма являются высокая сложность - около 20 MIPS для кодера и 13 MIPS для декодера и относительно высокая чувствительность к потерям кадров.

Кодек G.729 очень популярен в приложениях передачи речи по сетям Frame Relay. Он использует технологию CS-ACELP (Conjugate Structure, Algebraic Code Excited Linear Prediction). Кодек использует кадр длительностью 10 мс и обеспечивает скорость передачи 8 Кбит/с. Для кодера необходим предварительный анализ сигнала продолжительностью 5 мс.

Существуют два варианта кодека:

- G.729 (одобрен ИТУ-T в декабре 1996), требующий около 20 MIPS для кодера и 3 MIPS для декодера;
- упрощенный вариант G.729A (одобрен ИТУ-T в ноябре 1995), требующий около 10.5 MIPS для реализации кодера и около 2 MIPS для декодера.

В спецификации G.729 определены алгоритмы VAD, CNR и DTX. В периоды молчания кодек передает 15-битовые кадры с информацией о фоновом шуме, если только шумовая обстановка изменяется.

1.5. Алгоритм оценки качества речи PC PESQ

Алгоритм PESQ представляет собой метод объективной оценки качества.

На рис. 3.1 представлен процесс обработки сигналов, проводимый в соответствии с алгоритмом PESQ.

Выравнивание по уровню

Для корректного сравнения входного и выходного речевых сигналов их уровень мощности нужно выравнивать. Это необходимо, поскольку входной сигнал не может быть какого-либо определенного уровня, и коэффициент усиления тестируемой системы неизвестен до проведения испытаний.

В PESQ принято, что уровень прослушиваемого сигнала постоянен и равен 79 дБ [МСЭ-Т Р.830]. Для доведения до указанного уровня усиливаются оба сигнала – входной и выходной.

Данный процесс включает в себя следующие стадии:

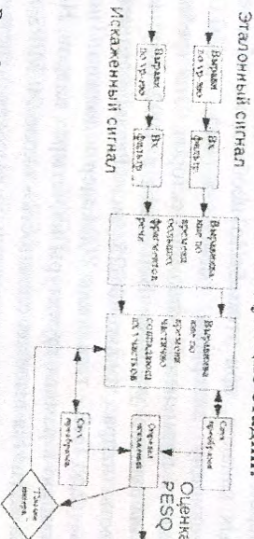


Рис. 3.1. Обработка сигналов по алгоритму PESQ

Входная фильтрация

Аналоговые соединения часто в той или иной степени фильтруют передаваемые по ним сигналы. Например, передающая часть телефонной трубки обычно фильтрует речевой сигнал, имея амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), которая похожа на стандартную АЧХ [МСЭ-Т Р.830]. Как правило, это допустимо, поскольку такого рода обработка сигнала оказывает меньшее влияние на качество связи, чем искажения сигнала, возникающие при его копировании. В алгоритме PESQ предусмотрена компенсация любого вида фильтрации, встречаемого в сети.

Выравнивание по времени

В системе связи может иметь место переменная задержка передачи сигналов. Чтобы корректно сравнивать входной и выходной сигналы, они должны быть выровнены относительно друг друга по времени. В

PESQ моделируется прослушивание сигнала. Для идентификации речевых частей сигнала и отбрасывания шума в PESQ выявляется голос.

Выравнивание по времени производится в три этапа.

- На первом этапе PESQ выравнивает большие фрагменты активной речи, идентифицируемые детектором голоса. Эти фрагменты могут содержать паузы, длительность которых не превышает заранее определенного порогового значения (200 мс). В этом процессе выявляется задержка передачи больших фрагментов выходного сигнала, сравнимая с входным.

• На втором этапе PESQ выравнивает частично совпадающие по времени небольшие участки речи (кадры). Этот процесс выявляет задержку, которая непостоянна в течение передачи большого фрагмента активной речи, в пакетных сетях такая задержка может быть весьма значительной.

• Третий этап проводится после операции слухового преобразования. На этом этапе повторно выравниваются так называемые «шпихи интервалы» (фрагменты речи с очень большими искажениями). Этот шаг повышает точность работы алгоритма при использовании небольшого числа кадров, при передаче которых неправильно определяется вариация задержки в ходе первоначального процесса выравнивания по времени.

Слуховое преобразование

Сравнению входного и выходного сигналов предшествует их слуховое преобразование, которое имитирует определенные особенности человеческого слуха. Это дает информацию о воспринимаемой громкости сигнала в зависимости от времени и частоты, представляемому как поверхность восприятия (sensation surface).

Определение параметров искажений

Разница между поверхностями восприятия входного и выходного файлов называется поверхностью ошибок; она указывает на все слышимые различия в звучании этих файлов, появившиеся в тестируемой системе. Поверхность ошибок анализируется с учетом влияния на качество связи тех небольших искажений сигнала, которые не слышны на фоне сигналов большой громкости (эффект маскирования).

На основании информации о позитивных и негативных ошибках рассчитываются два параметра искажений как нелинейные средние значения по определенным областям поверхности ошибок. Этими

параметрами являются:

- абсолютные (симметричные) искажения — характеризуют абсолютную слышимую ошибку;
- дополнительные (асимметричные) искажения — характеризуют слышимые ошибки, которые значительно громче входного сигнала.

Таким образом, алгоритм даст два параметра искажений, в которых просуммированы значения ошибок каждого типа. На конечном этапе работы алгоритма данные параметры искажений преобразуются в оценку качества связи, которая является линейной комбинацией средних значений симметричных и асимметричных искажений.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Изучите структурные схемы основных кодеков (G.711, G.726, G.729A, G.723.1).

2.2. Изучите ГОСТ Р 50840-95 «Передача речи по трастам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости».

2.3. Включите Р-АТС. Зайдите в учетную запись администратора Asterisk. Смените кодеки на 2 телефонах, субъективно оцените качество связи, занесите полученные данные в таблицу.

Для этого зайдите в веб-интерфейс телефона, войдите в учетную запись администратора (рис. 3.2).

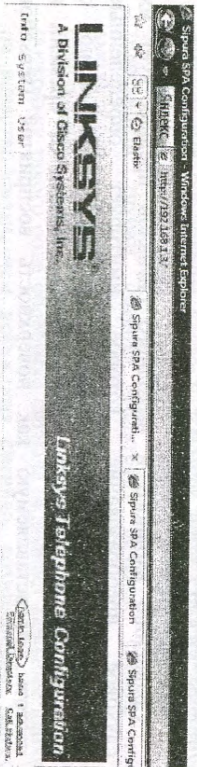


Рис. 3.2. Веб-интерфейс телефона

Перейдите на вкладку Expert (рис. 3.3), выберите нужный кодек и примените настройки. Аналогично повторите действия для второго телефона.

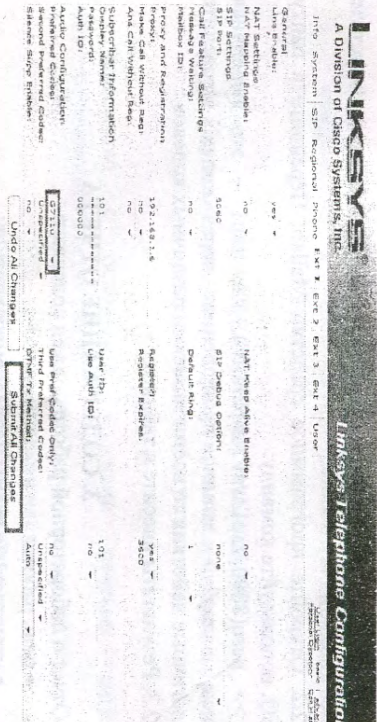


Рис. 3.3. Вкладка Expert

Кодек	G.711	G.726 (16 kbps)	G.726 (24 kbps)	G.726 (32 kbps)
Оценка (субъективная)				
Оценка (объективная)				

Кодек	G.726 (40 kbps)	G.729A	G.723.1
Оценка (субъективная)			
Оценка (объективная)			

2. Оцените объективное качество связи (с помощью программы аппаратной оценки качества PC PESQ).

2.1. Пропустите сигнал через программу VOCDemo, используя кодеки из таблицы.

Откройте программу VOCDemo, в зоне Input нажмите на знак папки, выберите исходный сигнал. В зоне Output также нажмите на

знак папки, укажите, куда сохранить полученный сигнал. Запустите запись кнопкой Play/Record.

2.2. Откройте программное средство Matlab. Перейдите в папку PESQ, используйте команду:

>> resq(8000,'zar1.wav','zar2.wav'), где zar1 – это первичная запись, а zar2 – запись, пропущенная через кодек. Проведите аналогичные действия со всеми записями различных кодексов.

2.3. Результаты внесите в таблицу.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- структурные схемы исследуемых кодексов;
- структурную схему алгоритма PESQ;
- таблицы и графики субъективных и объективных оценок качества;

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Закономерности построения алгоритмов кодирования.
2. Что такое оценка MOS? Как она производится?
3. Объясните понятие кадра. Почему используется пересылка нескольких кадров в пакете?
4. Для чего вводят избыточность? Как она влияет на речевой сигнал?
5. Перечислите основные кодеки PC и их отличительные характеристики.
6. Основные операции, проводимые в алгоритме объективной оценки качества PESQ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдштейн В.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. IP-телефония. - М.: Радио связь, 2001. - 366 с.
2. Рихтер С.Г. Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной связи. - М.: Горная линия — Телеком, 2010. - 304 с.

3. Серсеев В.С., Баринев В.В. Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах. - М.: РадиоСофт, 2012. - 360 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Изучение кодексов речевых сигналов в цифровых сетях интегрального обслуживания

Цель работы

Знакомство с основными кодексами речевых сигналов, используемыми в сетях связи.

1. Теоретическая часть

1.1. Кодеки на основе ИКМ

Основной иерархии каналов цифровой сети интегрального обслуживания (ЦИО) является канал 64 Кбит/с. Для этого телефонный сигнал, полоса частот которого ограничена 3400 Гц, дискретизируется с частотой 8 кГц. Разрядность импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) при неравномерном кодировании выбрана равной 8 с учётом допустимого уровня искажений при 14 или 15 преобразованных аналогового сигнала в цифровой в одном телефонном соединении. Это обстоятельство и определит скорость передачи речевой информации: 8 (разрядов) $\times$ 8000 (1/с) = 64 (Кбит/с). Скорости передачи 8, 16 и 32 Кбит/с могут быть получены с помощью адаптивной дифференциальной ИКМ (АДИКМ).

Методы цифровой передачи речевых сигналов, в общем, можно разделить на два больших класса. В одном из них используются такие же способы кодирования колебаний, как и для произвольных звуковых сигналов. К ним относятся ИКМ, дельта-модуляция (ДМ), дифференциальная ИКМ (ДИКМ) и другие. Во всех перечисленных способах предполагается, что ширина спектра сигнала ограничена и никаких других предположений о сигнале не делается.

Методы обработки, относящиеся к другому классу, в большей мере связаны со структурой речевых сигналов. Они основываются на моделировании органов речи линейной системой с медленно изменяющимися параметрами, возбуждаемой соответствующим сигналом.

Цифровое представление обеспечивает устойчивость к помехам, эффективную регенерацию сигнала, простое засекречивание, позволяет объединить функции передачи и коммутации, а также даёт ещё одно преимущество - одинаковый формат для различных типов сигналов.

Наиболее простое цифровое представление речи состоит в непосредственном представлении формы речевого сигнала. Такие методы, как ИКМ, ДМ, ДИКМ основаны на теореме отсчетов Шеннона (теорема Котельникова), согласно которым любой сигнал с ограниченным спектром может быть представлен и точно восстановлен по его дискретным отсчетам, периодически повторяющимся во времени, при условии, что их частота выше наибольшей частоты спектра сигнала.

Общая схема цифрового представления речевого сигнала (рис. 4.1) состоит из дискретизатора (Д) и квантователя (КВ).

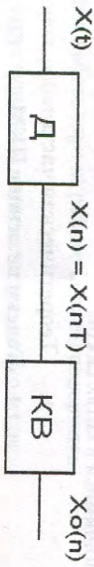


Рис. 4.1. Общая схема цифрового представления речевого сигнала

Обычно в системах цифровой обработки речевого сигнала используется периодическая дискретизация входного сигнала $X(t)$. На выходе дискретизатора отсчеты речевого сигнала $X(n)$ в точках $t=nT$, где T - период дискретизации, могут принимать непрерывное множество значений. Функция квантователя - преобразовать сигнал $X(n)$ к виду $X_0(n)$, принимающему конечное множество значений, т.е. представить речевой сигнал в цифровой форме.

Дискретное представление речевого сигнала следует из теоремы В.А.Котельникова, в соответствии с которой сигнал $X(t)$, имеющей спектр $S_0(\Omega)$ при $\Omega < 2\pi F$, может быть восстановлен единственным образом по последовательности равноотстоящих отсчетов $X_0(nT)$, $-\infty < n < \infty$, если $1/T > 2F$.

Анализ спектрального состава речевого сигнала показывает, что в диапазоне 0,3...3,4 кГц сосредоточены основные форманты речи. По этой причине МСЭ-Т рекомендовал данный диапазон частот в качестве телефонного канала связи, а частота дискретизации первичных потоков ЦСИО была выбрана 8 кГц.

Для устранения искажений, связанных с наложением частот при дискретизации, необходимо пропустить речевой сигнал через фильтры нижних частот с частотой среза 3,4 кГц. Последовательность непрерывных величин $X(n)$, представляющая собой случайный процесс в дискретном времени, формируется на выходе дискретизатора с частотой 8 кГц. Передача этой последовательности по цифровому каналу связи требует предварительного квантования с шагом каждого отсчета

$X(n)$ до конечного множества значений с последующим представлением множества двоичных символов.

Т.е. процесс представления последовательности $X(n)$ в цифровом виде включает этапы квантования, при котором $X(n)$ преобразуется в последовательность $X_0(n)$, и кодирования, когда последовательности $X_0(n)$ ставится в соответствие кодовое слово $C(n)$.

Аналого-цифровой (рис. 4.2.а) и цифроаналоговый (рис. 4.2.б) преобразователи телефонного сигнала для ИКМ называются соответственно кодерами (К) и декодерами (ДК). В декодере осуществляется преобразование искаженных шумами кодовых слов $C'(n)$ в последовательность квантованных отсчетов $X_0'(n)$.

ИКМ является наиболее распространенным методом цифрового преобразования аналоговых сигналов. При ИКМ, как и при других видах цифровой модуляции, происходит дискретизация во времени передаваемого сигнала. Величины дискретных отсчетов выражаются группами кодовых импульсов. Если каждый импульс, входящий в состав кодовой группы, может принимать любое из m значений (0, 1, 2, ..., $m-1$), а кодовая группа содержит p импульсов, то возможно формирование m^p в степени p различных кодовых групп. Величина m - основание кода, p - число разрядов.

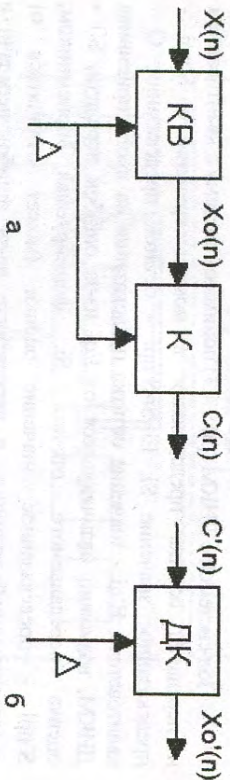


Рис. 4.2. АЦП (а) и ЦАП (б) для ИКМ

Аналоговые сигналы на входе цифровой системы передачи принимают любые значения в пределах заданного амплитудного диапазона. Используя p -разрядные кодовые группы, можно передавать информацию не более чем о m в степени p различных значениях сигнала. Поэтому при цифровой передаче необходимо амплитудное квантование передаваемого сигнала. Таким образом, при ИКМ осуществляются три вида преобразований:

- дискретизация во времени исходного сигнала;
- квантование амплитуд дискретных отсчетов сигнала;

- кодирование, т.е. формирование кодовых групп, соответствующих квантованным значениям дискретных отсчетов сигнала.

При ИКМ информация о величине уровня квантования передается в форме групп кодовых импульсов. Закон, устанавливающий соотношение между величиной (или номером) уровня квантования и структурой кодовой группы, называется кодом. Коды, используемые в линейных трактах систем ИКМ, выбираются из условий передачи цифровой последовательности с высокой достоверностью.

Из-за нестационарности преобразуемых сигналов и (или) недостаточности априорных сведений об их статистике дискретизированный с помощью ИКМ сигнал зачастую оказывается избыточным. Избыточные данные загружают канал связи, устройства хранения информации и тем самым снижают фактическую пропускную способность канала и емкость устройств хранения. В настоящее время для повышения эффективности систем связи, систем преобразования и хранения информации применяются адаптивные варианты ИКМ, в которых параметры систем дискретизации меняются, подстраиваясь под дискретизируемый сигнал. К таким системам относятся ДИКМ и ДМ. В них осуществляется регулировка начала отсчета шкалы квантования.

1.2. Дифференциальный ИКМ

Под системой с ДИКМ (рис. 4.3) понимают систему с квантованием и передачей остатка предказания в момент времени i ; S^i - предказанное значение; E^i ; $E^i = S^i - S^{i-1}$ - остаток предказания; Q - квантователь; E^i - значение остатка предказания на входе приемника ДИКМ, возможно отличающееся от E^i из-за ошибок передачи; S^{i-1} - оценка передаваемого отсчета S^i , формируемая приемником; S^{i-1} - предказанное значение оценки (может отличаться от соответствующей величины в передатчике из-за ошибок передачи и разных способов формирования на передатчике и приемном концах).

В приемном устройстве производятся цифраналоговое преобразование и суммирование отдельных приращений передаваемого сигнала.

Модуляционное оборудование в системе с ДИКМ несколько сложнее, чем при ИКМ (наличие сумматора, вычитающего устройства). С учетом вышесказанного ДИКМ не наша широкого применения при передаче речевых сигналов.

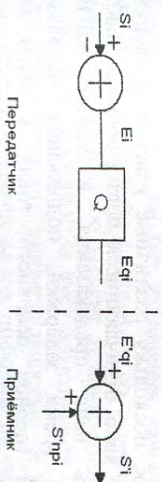


Рис. 4.3. Передаточный и приемный блоки системы с ДИКМ

1.3. Адаптивная дифференциальная ИКМ

Структурная схема системы АДИКМ представлена на рис. 4.4. В системе АДИКМ возможно применение квантователей с адаптацией по входу и выходу.

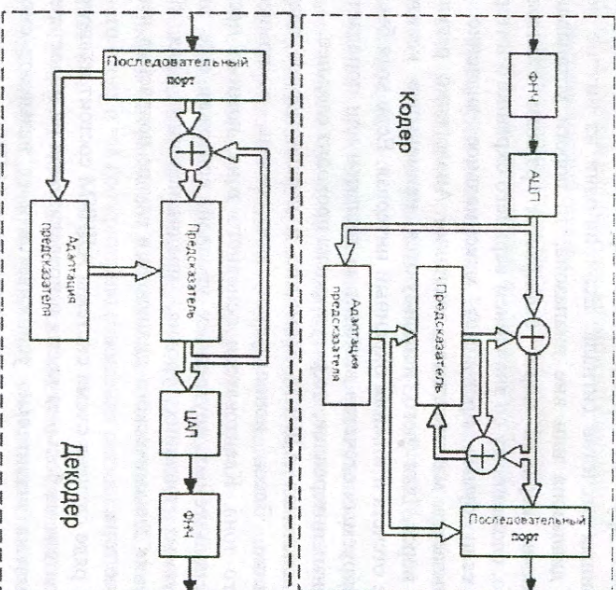


Рис. 4.4. Кодирование и декодирование устройства системы с АДИКМ

При адаптации по выходу не требуется передавать информацию о шаге квантования на приемную сторону, но восстановленный сигнал в этом случае оказывается более чувствительным к ошибкам в канале связи.

Техника адаптации обеспечивает получение улучшенных

характеристик, поскольку различные гласные и звонкие согласные звуки имеют явно отличающиеся повторяющиеся шаблоны. Чтобы преобразовать цепи предсказания, в кодеке АДИКМ сначала определяется время задержки, подлежащее использованию при предсказании (период основного тона), а затем коэффициенты взвешивания для значений задержанных дискретов. Коэффициенты предсказания зависят от времени $a(k, n)$ и пересчитываются через каждые 5...20 мс.

Обычно адаптивный квантователь осуществляет равномерное квантование в пределах диапазона между верхним и нижним порогами ограничения, причем в процессе регулирования пороги меняются независимо друг от друга. Анализируются n последовательных квантованных отсчетов сигнала. Если ни один из них не попал на границу диапазона или вне диапазона, то пороги устанавливаются следующими: верхний порог выбирается равным квантованному значению, сложенному со значением верхнего охранного интервала. В случае, если сумма превышает максимальное значение порога, устанавливается максимальное значение. Аналогично регулируется нижний порог, для чего используются наименьшее квантованное значение отсчета и нижний охранный интервал. Если хотя бы один из n анализируемых отсчетов выходит за диапазон или попадает в один из охранных интервалов, то регулировка проходит сложнее.

В системах АДИКМ возможно и неравномерное адаптивное квантование. Здесь используется квантователь с компенсацией основного тона. Квантователи основного тона, помимо нескольких часто используемых внутренних уровней, содержат еще два реже используемых внешних уровня, предназначенных для быстрого расширения динамического диапазона в случае появления импульсов основного тона.

В ряде случаев схема системы АДИКМ состоит из двух частей: предсказателя на большое время и предсказателя на малое время. При этом система значительно усложняется и ее называют системой с адаптивным кодированием и предсказанием (АПК).

Следует отметить, что снижение субъективной громкости шума может сопровождаться незначительным уменьшением отношения сигнал/шум. Так, при одинаковом качестве звучания сигнала на приемной стороне в АДИКМ отношение сигнал/шум равно 20 дБ, а в ИКМ - 33 дБ (при скорости передачи в ИКМ 56 Кбит/с, а в АДИКМ - 16 Кбит/с).

Таким образом, АДИКМ позволяет снизить скорость передачи

до 24 - 32 Кбит/с, практически без ухудшения качества звучания сигнала на приемной стороне по сравнению со стандартной ИКМ. Качество передачи при этом слабо зависит от конкретного источника информации (абонента, диктора). За счет адаптивного предсказания колек обладает относительной универсальностью и может быть использован для передачи других видов информации, например для передачи данных и телеграфии.

2. Практическая часть

1. Запустите программу лабораторной работы CODER.
2. Введите параметры сигнала по указанию преподавателя при смещении сигнала относительно «нулевого» уровня квантователя, равного 0, с учётом следующих возможных вариантов:
 - нестандартный процесс;
 - сигнал с нормальным законом распределения;
 - сигнал с распределением по закону арксинуса.

3. Исследуйте квантователь ИКМ при длине кодового слова $n = 8$. Постройте зависимость отношения сигнал/шум G (определенная до двух знаков) от величины размаха сигнала ($U = 2.4-8-16-32-64-128-255$). Сделайте вывод.

4. Исследуйте квантователь ИКМ с μ -компандером при длине кодового слова $n = 8$, $\mu = 280$ для нормального закона распределения. Постройте зависимость отношения сигнал/шум от величины размаха сигнала. Определите средний выигрыш в отношении сигнал/шум, и сравните с квантователем ИКМ. Сделайте вывод.

5. Повторите п. 4 при длине кодового слова $n = 6, 5, 4$. Сделайте вывод о возможном уменьшении скорости работы колека с μ -компандером по сравнению с кодеком с квантователем ИКМ при длине кодового слова $n = 8$ (по критерию отношения сигнал/шум) на выходе квантователя.

6. Повторите п. 4 для входного сигнала с распределением по закону арксинуса. Сделайте вывод об эффективности применения компандирования для квантования сигналов с разными законами распределения.

7. Повторите пп. 4, 5 для квантователя АДИКМ.

3. Содержание отчёта

Отчет о лабораторной работе должен содержать: структурные схемы кодирующего и декодирующего устройств системы с

АДЖМ, а также таблицы и графики исследований кодеков ИЖМ и АДЖМ.

4. Контрольные вопросы

1. Какой канал является основной иерархии каналов цифровой сети интегрального обслуживания?
2. В какой полосе сосредоточены основные форманты речи?
3. Объясните принцип работы кодера АДЖМ.
4. Принципы равномерного и неравномерного адаптивного квантования.
5. Объясните структурную схему кодера АДЖМ.

Библиографический список

1. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи.-М.: Радио и связь, 2000.-456 с.
2. Кириллов С.Н., Стукалов Д.Н. Цифровые системы обработки речевых сигналов: учеб. пособие. Рязань: РГТА, 1995.-80 с.
3. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи.-М.: Эко-трендз, 1996.-239 с.

Содержание

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Исследование VoIP-сети с использованием ДНСР-сервера на базе программы Cisco Packet Tracer.....	1
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Проектирование IP-сети связи на основе АТС Asterisk.....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Изучение кодеков IP-телефонии.....	29
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Изучение кодеков речевых сигналов в цифровых сетях интегрального обслуживания.....	41