

**Санкт-Петербургский Государственный Университет Телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича**

УТВЕРЖДАЮ:

**Заведующий кафедрой Систем
Коммутации и Распределения Информации
проф., д.т.н. Гольдштейн Б.С.**

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

**«Исследование особенностей и построение
функциональной модели сигнального протокола SIP с
учётом последних рекомендаций IETF»**

Студент-дипломник

5 курс, гр. СК-91

Галактионов А. Н.

Руководитель

нач. сектора ФГУП ЛОНИИС

Зарубин А. А.

Санкт-Петербург

2004 г.

Реферат

Работа посвящена исследованию особенностей протокола SIP v.2 и вопросов его реализации в тестирующем оборудовании.

Пояснительная записка состоит из 91 страницы, 45 рисунков и 10 таблиц и приложения.

В дипломной работе производится исследование особенностей и построение функциональной модели последней версии протокола сигнализации для сетей IP-телефонии - SIP. При построении функциональной модели собрана воедино вся информация, касающаяся протокола SIP v.2, его основных и дополнительных функций в соответствии с последними документами RFC комитета IETF, получившими статус стандарта. Раскрываются функциональные возможности элементов, взаимодействующих по данному протоколу, детально исследуются процедуры управления соединением. Рассматриваются расширения SIP, специфицированные в целях внедрения новых услуг для пользователей сети, построенной на базе протокола SIP. Приводятся примеры сценариев обмена сообщениями по протоколу SIP. Производится сравнение первоначальной и обновлённой версий протокола.

Часть работы выполнялась в рамках подготовки материалов для технического задания на разработку тестера сигнального протокола IP-телефонии SIP. Подробное описание процедур взаимодействия элементов сети SIP, детализованное описание требований к функциональности каждого из элементов сети, алфавит и содержание сообщений, а также разработанные SDL-алгоритмы могут быть использованы в качестве теоретической базы при проектировании устройства SIP-тестер. Кроме того, результаты работы были использованы при подготовке материалов для справочника по протоколу сигнализации SIP для технических специалистов и в учебном процессе СПбГУТ.

Содержание

| | |
|---|----|
| Титульный лист | |
| Содержание | |
| Введение | 3 |
| 1. Специфика протокола инициирования сеансов связи | 6 |
| 1.1. Назначение протокола SIP и его основные характеристики | 6 |
| 1.2. Взаимодействие по протоколу сигнализации SIP | 8 |
| 2. Построение функциональной модели протокола SIP | 16 |
| 2.1 Архитектура сети SIP | 16 |
| 2.2. Адресация | 18 |
| 2.3. Структура протокола | 18 |
| 2.4. Сообщения протокола SIP | 19 |
| 2.5 Назначение и функциональность элементов сети SIP | 31 |
| 2.5.1. Назначение и функциональность агента пользователя | 31 |
| 2.5.2 Назначение и функциональность прокси-сервера | 33 |
| 2.5.3 Назначение и функциональность сервера перенаправления | 38 |
| 2.6. Процедуры управления соединением | 39 |
| 2.6.1. Диалоги | 39 |
| 2.6.2. Транзакции | 43 |
| 2.6.3. Процедура регистрации | 44 |
| 2.6.4. Процедура запроса информации о функциональных возможностях | 48 |
| 2.6.5. Процедура отмены запроса | 49 |
| 2.6.6. Процедуры инициализации сессий | 51 |
| 2.6.7. Процедуры модификации сессий | 55 |
| 2.6.8. Процедуры разрушения сессий | 57 |
| 2.7. Сценарии обмена сообщениями по протоколу SIP | 58 |
| 3. Сравнение и анализ изменений протокола SIP в ходе эволюции | 66 |
| 3.1 Изменения в части процедур управления вызовом | 66 |
| 3.1 Изменения в части функциональности сетевых элементов | 67 |
| 4. Вопросы практической реализации ПО SIP | 72 |
| 4.1 Алгоритмы передачи и приёма сообщений протокола SIP | 72 |
| 4.1.1 Функционирование клиентских транзакций | 72 |
| 4.1.2 Функционирование серверных транзакций | 81 |
| 4.2 Сообщения протокола SIP и их содержимое | 88 |
| Заключение | 90 |
| Список использованных материалов | 91 |
| Приложение 1 | 92 |

Введение

Телефонные сети и сети передачи данных сосуществовали в течение десятилетий и развивались независимо друг от друга. И те, и другие соответственно предоставляли свой независимый спектр услуг. IP-телефония объединяет их в единую коммуникационную сеть, которая предлагает мощное и экономичное средство связи.

Возможность передавать речевой трафик с фиксированным качеством по пакетным сетям передачи данных предопределила дальнейшее направление развития в области телефонии. Помимо предоставления услуг телефонной связи в пределах сети передачи данных (в частности сети, работающей по протоколу IP), стало доступным осуществлять транзит речевого трафика между узлами ТфОП/ISDN, а так же устанавливать сеансы связи по сценарию «Компьютер-телефон» и «Телефон-компьютер».

Существует несколько подходов к построению сетей IP-телефонии. Все они регламентируют управление мультимедиа-вызовами и передачу медиа-трафика в IP-сетях, но при этом реализуют различных подходы к построению систем телефонной сигнализации.

Исторически первый и самый распространенный в настоящее время - это введенный Международным союзом электросвязи (МСЭ) набор рекомендаций H.323. По сути H.323 – это попытка перенести телефонную сигнализацию ISDN Q.931 на IP-соединения, т. е. как бы «наложить» традиционную телефонию на сети передачи данных.

Набор рекомендаций H.323 не смог обеспечить серьезные улучшения для конечных пользователей. Она не смогла стать основной ни для разработки нового поколения конечных точек, ни для поддержки дополнительных видов обслуживания, подобных тем, что предоставляют традиционные учрежденческие АТС. Для того, чтобы обеспечить реальные инновации на уровне конечных узлов, индустрия должна упростить процесс разработки новых приложений, предложив для этого стандартные программные интерфейсы и высокоуровневый инструментарий. Но, как показывает развитие средств компьютерно-телефонной интеграции, даже этого недостаточно. Необходимо, чтобы модель предоставления телефонных услуг строилась на базе служб сетей передачи данных - тогда она позволит быстро разрабатывать удобные и совместимые решения для сетей NGN.

Внедрить развитую поддержку речевых коммуникаций в среду передачи данных можно с помощью протоколов, ориентированных в первую очередь на предоставление услуг конечным пользователям. Созданные на их базе продукты должны легко интегрироваться в существующие сети, требуя лишь минимальной модификации сетевых инфраструктур, а сами протоколы - легко расширяться, причем так, чтобы добавление в них новых функций не нарушало работу систем, основанных на предыдущих версиях, и

не требовало соответствующего одобрения зачастую конкурирующими друг с другом организациями по стандартизации.

Всем этим критериям соответствует протокол SIP (Session Initiation Protocol), предложенный одной из рабочих групп комитета IETF. Он регламентирует алгоритмы установления, модификации и завершения мультимедийных (в том числе речевых) соединений. SIP многое позаимствовал у таких популярных и уже доказавших свою состоятельность протоколов, как HTTP и SMTP.

Многие стандарты никогда не воплощаются в успешные коммерческие продукты. К SIP это не относится. На рынке уже есть поддерживающие его шлюзы, серверы-посредники, терминалы. Внедрение протокола SIP сопровождается работой по дальнейшему развитию и расширению протокола. Одно из возможных новых применений SIP – это использование его в качестве протокола установления соединения в сотовых сетях третьего поколения (3G). Так, организация 3GPP (3rd Generation Partnership Project) уже приняла его в качестве сигнального протокола мобильной сети 3-го поколения. Еще одно применение SIP – соединение АТС между собой посредством IP-тракта. В этом случае сообщения протоколов ISUP, DSS-1 или QSIG инкапсулируются в сообщения SIP.

Протокол SIP является перспективным современным протоколом для предоставления широкого спектра телекоммуникационных услуг. SIP и сопутствующие ему протоколы родились и развиваются в рамках IETF - главного органа стандартизации Интернет. Первая версия протокола SIP была принята в марте 1999 г., на три года позже, чем H.323. Однако после апробирования протокола на реальных сетях и благодаря интенсивному развитию этого направления первоначальная версия претерпела ряд изменений. Часть требований к реализациям, построенным по обновлённой версии протокола SIP, не поддерживает обратной совместимости с реализациями, выполненными по изначальной версии. В связи с этим могут возникнуть сложности при попытке установления взаимодействия между устройствами, выполненным по разным версиям рекомендаций.

Помимо новой версии протокола, описывающей общие принципы работы сети, построенной с использованием технологии на базе SIP, было специфицировано множество расширений сигнального протокола, которые дополняют функциональные возможности логических элементов SIP-архитектуры, определяя механизмы для предоставления новых видов услуг и оптимизации алгоритмов взаимодействия элементов в сети. В работе приводятся уточнённые сведения об обновлённой версии протокола инициации сеансов связи SIP, а так же рассматриваются основополагающие изменения аспектов функционирования протокола. Особое внимание уделяется исследованию наиболее значимых механизмов, расширяющих стандартные функциональные возможности протокола сигнализации SIP.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании устройства SIP-тестера для точного и детального определения процедур взаимодействия элементов сети SIP, для опознания, проверки полноты и правильности формата сообщений обмена и для выявления необходимого круга функциональных возможностей каждого из логических элементов. Ценность дипломной работы, проводившейся в рамках создания проекта технического задания на разработку SIP-тестера, повышается тем, что в настоящее время не существует русскоязычной литературы, посвящённой рассмотрению технических особенностей протокола SIP v.2, большинство иностранной литературы, написанной к сегодняшнему дню, также основывается на исходной версии стандарта и не учитывает последующих расширений протокола. Данная работа выполнена в соответствии с последними рекомендациями комитета IETF, получившими статус стандарта. Основные практические результаты работы – материалы дипломной работы были использованы при составлении справочника для технических специалистов по протоколу SIP. Части работы была использована в качестве теоретического материала для проведения занятий в СПбГУТ им проф. М.А. Бонч-Бруевича.

Структура и объём работы

Дипломная работа разбита на четыре главы.

- В первой главе даётся общее понятие о протоколе SIP, указывается его специфика и преимущества и особенности. Так же в общих чертах приводится пример взаимодействия по протоколу SIP; в комментарии к примеру даётся краткий обзор основных процедур, связанных с установлением, изменением и завершением сеанса связи.
- Во второй главе, посвящённой построению функциональной модели протокола, подробным образом освещаются вопросы, связанные с типами, составом и назначением сообщений протокола SIP v.2, основными и вспомогательными процедурами управления соединением, назначением и функциональностью логических элементов сети SIP. Даётся описание архитектуры сети, построенной на базе протокола SIP, и системы адресации, принятой в ней. Исследуются новые механизмы, расширяющие функциональные возможности SIP. В заключении приводятся основные сценарии взаимодействия по протоколу SIP, в которых рассмотренные элементы сети SIP в процессе управления соединением осуществляют обмен сообщениями.
- В третьей главе производится сравнение исходной [2] и новой [1] версий протокола. Сравнение выполняется в следующих направлениях: изменения в части процедур управления вызовом и изменения в части функциональности сетевых элементов и функциональных возможностей протокола. По результатам выполняется анализ выявленных изменений.

- Четвёртая глава посвящена вопросам практической реализации тестирующего оборудования протокола SIP. Для алгоритмов обмена сообщениями между элементами сети SIP, были разработаны SDL-диаграммы, позволяющие облегчить процесс создания ПО соответствующего оборудования. Кроме того был освещен вопрос, касающийся сигнальных единиц протокола SIP и их содержимого.

Глава 1. Специфика протокола инициирования сеансов связи

1.1. Назначение протокола SIP и его основные характеристики

Существует множество Интернет-приложений, которые требуют создания сессии и управления ею, где под сессией понимается обмен информацией между группой участников. Техническая реализация таких приложений осложняется необходимостью учёта всех возможностей пользователей: пользователи могут перемещаться от одной конечной точки к другой, они могут быть адресуемы одновременно по нескольким направлениям и они могут одновременно обмениваться информацией различного типа (данные, аудио, видео). Было создано большое число протоколов, которые предназначены для передачи разнотипной мультимедийной информации в масштабе реального времени в ходе сессии, например, такой как аудио, видео и текстовые сообщения. Протокол SIP работает в сочетании с этими протоколами, позволяя конечным точкам сети Интернет (называемым агентами пользователя) обнаружить друг друга и согласовать параметры сессии, которую они желают установить. Для обнаружения местоположения будущих участников сессии и других функций протокол SIP предусматривает создание инфраструктуры сетевых узлов (называемых прокси-серверами), которым агенты пользователя отсылают сообщения регистрации, приглашения к сеансу связи и другие запросы. SIP – это простое универсальное средство для создания, модификации и завершения сессий, которое работает независимо от используемых транспортных протоколов и типа устанавливаемой сессии.

SIP – управляющий протокол прикладного уровня, который предназначен для установления, модификации и завершения мультимедийных сеансов связи с одним или несколькими участниками. Эти сеансы могут включать в себя мультимедиа-конференции, дистанционное обучение, телефонные звонки по Интернет и распространение мультимедийного информационного наполнения. Протокол SIP также может приглашать участников к уже существующим сессиям, таким как multicast-конференции. SIP прозрачно поддерживает преобразование адресов и сервисы переадресации, которые обеспечивают персональную мобильность – пользователи имеют единый идентификатор в не зависимости от их местоположения в сети. Средства протокола SIP обеспечивают следующие аспекты по работе с мультимедийными сеансами связи:

- User location (местоположение пользователя) – определение конечной системы, которая будет использована для коммуникаций.
- User availability (доступность пользователя) – определение готовности вызываемого пользователя принять вызов.

- **User capabilities** (возможности пользователя) – установление типа мультимедийной информации и её параметров для последующего использования.
- **Session setup** (установление сеанса связи) – согласование участниками параметров сессии.
- **Session management** (управление сеансом связи) – включает переключение и завершение сессии, изменение сессионных параметров и предоставление сервисов.

Протокол SIP является одним из компонентов, который может быть использован совместно с другими протоколами IETF для построения законченной коммуникационной архитектуры, специализированной для передачи мультимедийного трафика. Как правило, эти архитектуры включают такие протоколы, как RTP - для передачи трафика реального времени, RTSP – для контроля доставки потоковой информации, MEGACO – для управления шлюзами с ТфОП и SDP – для описания мультимедийных сессий – в сочетании с этими протоколами SIP предоставляет сервисы пользователям. Однако функциональность и работа SIP в широком смысле не зависит ни от одного из этих протоколов.

Протокол SIP не предоставляет услуг – он обеспечивает средства, которые могут быть использованы для реализации различных услуг. Например, SIP может определить местоположение пользователя и доставить ему требуемый объект – информацию, не прозрачную для протокола SIP. Тогда, если эта функция протокола используется для доставки описания сессии в формате SDP, конечные точки могут согласовать параметры сессии; та же функция может быть использована для доставки фотографии вызывающего пользователя – т.е. одна функция протокола может быть использована для предоставления нескольких различных услуг.

SIP не предусматривает управления конференциями и не регламентирует, как должно осуществляться это управление. SIP используется только для организации сессии, которая использует другие протоколы по управлению конференцией. Кроме этого, протокол SIP не обеспечивает резервирования ресурсов. Таким образом сигнальный протокол имеет следующие характеристики:

- *Персональная мобильность пользователей* - пользователи могут неограниченно перемещаться в пределах сети, поэтому услуги связи должны предоставляться пользователям в любом месте сети. При этом пользователю присваивается один уникальный идентификатор.
- *Масштабируемость сети* - в первую очередь характеризуется возможностью увеличения количества элементов сети при её расширении. Серверная структура

сети, построенной на базе протокола SIP, в полной мере отвечает этому требованию.

- *Расширяемость протокола* - характеризуется возможностью дополнения протокола для введения новых услуг и адаптации протокола для работы с различными приложениями.
- *Интеграция в стек существующих протоколов Интернет, разработанных IETF* - протокол SIP является частью глобальной архитектуры мультимедиа, разработанной комитетом Internet Engineering Task Force (IETF). Однако функции протокола SIP не зависят ни от одного из этих протоколов.
- *Взаимодействие с другими протоколами сигнализации*. Протокол SIP может быть использован совместно с протоколом H.323. Возможно также взаимодействие протокола SIP с системами сигнализации ТФОП DSS1 и ОКС7. Причем для облегчения процедуры взаимодействия сигнальные сообщения протокола SIP могут переносить не только специфичный SIP-адрес, но и телефонный номер формата E.164 или любого другого формата.

Из сказанного выше очевидна актуальность дипломной работы – SIP является перспективным, развивающимся протоколом, требующим исследования и создания средств, облегчающих процесс его реализации. Согласно цели, в работе проводится исследование особенностей протокола SIP v.2 и вопросов его реализации в тестирующем оборудовании. В контексте поставленной цели были сформированы следующие задачи: построение функциональной модели последней версии протокола инициации сеансов связи – SIP v.2, сравнение функциональных возможностей протокола SIP v.2 с предыдущей версией, анализ изменений протокола SIP в результате его развития, составление спецификации протокола SIP v.2 в целях реализации ПО протокол-тестера, разработка SDL-диаграмм процессов обмена сообщениями в целях создания ПО протокол-тестера SIP.

1.2. Взаимодействие по протоколу SIP

В данном разделе в общих чертах приведён пример взаимодействия по протоколу SIP, освещающий основные функции протокола: определение местоположение конечной точки, передача сигнальной информации, приглашающей к взаимодействию, согласование параметров сессии для последующего её установления, разрушение сессии.

Диаграмма, изображённая на рис.1.1 представляет типичный пример обмена SIP сообщениями между двумя пользователями User A и User B. В этом примере User A использует SIP-приложение на своём ПК (называемое англоязычным термином «softphone») для вызова User B через сеть Интернет; при этом User B принимает вызов на

свой SIP-телефон. Два SIP прокси-сервера, отражённые на рисунке, действуют от имени пользователей, выполняя функции посредника при установлении сессии. Такое распространённое расположение SIP элементов принято называть «SIP-трапецидом» из-за геометрической формы, образованной пунктирными линиями на диаграмме.

Пользователь User A вызывает пользователя User B, используя его SIP-адрес – тип Универсального Идентификатора Ресурса (URI), называемый SIP URI. Он имеет форму, похожую на email-адрес, традиционно включая в себя имя пользователя и имя узла.

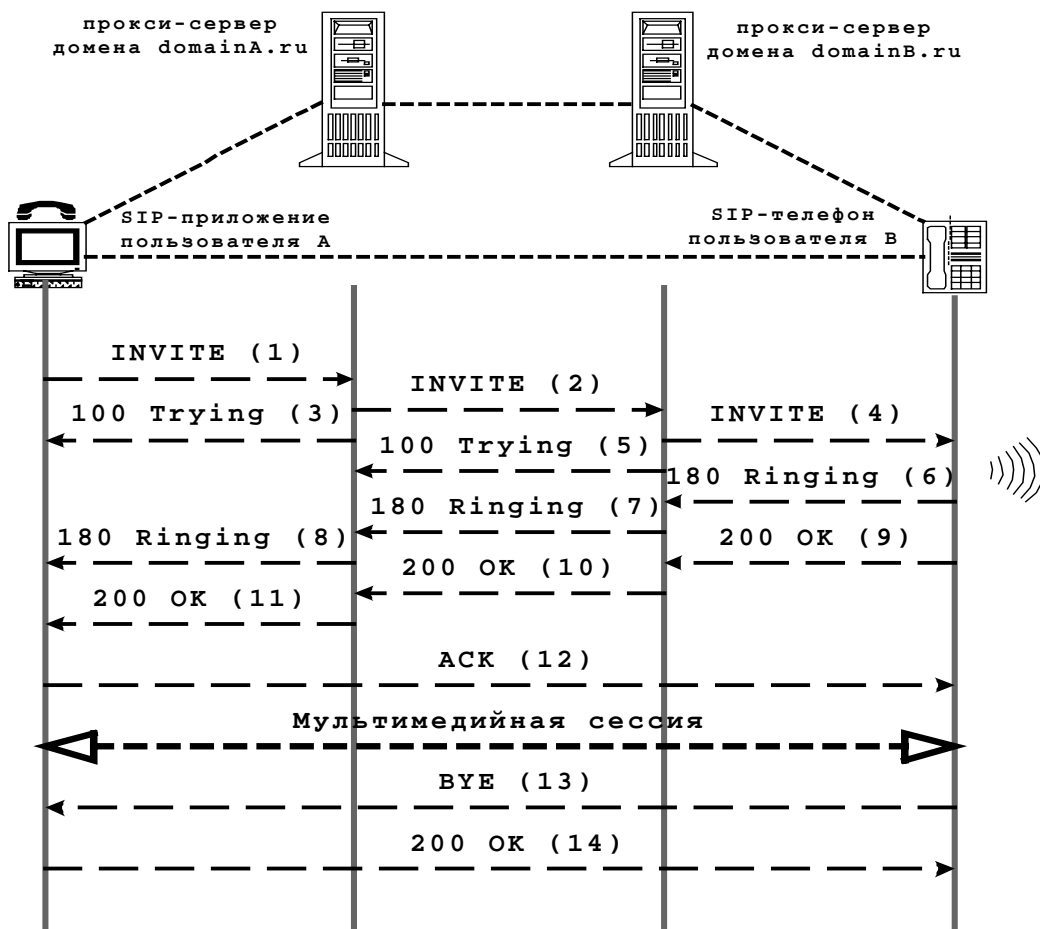


Рис. 1.1. Взаимодействие элементов сети по протоколу SIP.

Т.е. для данного случая User B имеет адрес `sip:userB@domainB.ru`, где `domainB.ru` – это домен поставщика услуг пользователя B. User A имеет SIP-адрес - `userA@domainA.ru`. Пользователь A может занести адрес пользователя B с клавиатуры, воспользоваться гиперссылкой или адресной книгой. Протокол SIP также предоставляет возможность использования URI, гарантирующего безопасность, который называется SIPS URI. Например, `sips:userB@domainB.ru`. Вызов, предпринятый на SIPS URI, будет проходить при использовании транспортного протокола TLS, обеспечивающего безопасность и шифрование для всех SIP сообщений, переданных от вызывающего пользователя в домен вызываемого пользователя. В пределах домена вызываемого пользователя механизмы обеспечения безопасности зависят от внутренней политики домена.

Протокол SIP базируется на транзакционной модели «запрос/ответ», сходной с используемой в протоколе HTTP. Каждая транзакция состоит из запроса определённого типа, требующего выполнения каких-либо действий прокси-сервером, и по меньшей мере одного ответа. В представленном сценарии транзакция создаётся при отсылке SIP-приложением пользователя А запроса INVITE, адресованного пользователю В. Запрос INVITE содержит группу заголовков. Заголовки обеспечивают дополнительную информацию о сообщении. Присутствующие в запросе INVITE заголовки включают уникальный идентификатор вызова, адрес места назначения, адрес отправителя, информацию о типе сессии, которую желает установить пользователь А с пользователем В. Запрос INVITE (сообщение F1 на рис.1.1) может выглядеть так:

```
INVITE sip:userB@domainB.ru SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP pc33.domainA.ru;branch=z9hG4bK776asdhds
Max-Forwards: 70
To: User B <sip:userB@domainB.ru>
From: User A <sip:userA@domainA.ru>;tag=1928301774
Call-ID: a84b4c76e66710@pc33.domainA.ru
CSeq: 314159 INVITE
Contact: <sip:userA@pc33.domainA.ru>
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 142
```

Первая строка сообщения содержит тип запроса (INVITE). Следующие строки представляют собой список заголовков. В приведённом примере представлен минимальный требуемый набор заголовков.

- **Via** - содержит адрес (pc33.domainA.ru), на который User А ожидает получить ответы на переданный запрос. Также он включает параметр «branch», идентифицирующий данную транзакцию.
- **To** – содержит отображаемое имя (User В) и SIP или SIPS URI (sip:userB@domainB.ru), на который был изначально направлен запрос.
- **From** – также содержит отображаемое имя (User А) и SIP или SIPS URI (sip:userA@domainA.ru), который указывает инициатора запроса. Заголовок включает параметр «tag», представляющий собой строку со случайным значением (1928301774), которая была добавлена к URI SIP-приложением; он используется в целях идентификации.
- **Call-ID** – содержит уникальный в мировом масштабе идентификатор для данного вызова, представляющий собой сочетание строки со случайным значением и имя или IP-адрес узла, на котором установлено SIP-приложение. Комбинация «tag» заголовка To, «tag» заголовка From и Call-ID полностью определяет отношения между равноправными SIP элементами пользователей А и В и носит название диалог.

- **CSeq** – содержит порядковый номер и тип запроса. Порядковый номер увеличивается на единицу для каждого нового запроса в диалоге.
- **Contact** – содержит SIP или SIPS URI, который представляет адрес, по которому возможно связаться с User A в текущий момент времени. В то время как значение заголовка Via указывает другим элементам, куда отправлять ответы, значение заголовка Contact информирует другие элементы, куда отсылать будущие запросы.
- **Max-Forwards** – служит для ограничения числа пересылок, которые может осуществить запрос на пути к месту назначения.
- **Content-Type** – содержит тип тела сообщения (тело сообщения не показано).
- **Content-Length** – содержит длину тела сообщения в байтах.

Характеристики сессии, такие как тип медиа-информации, используемый кодек или частота дискретизации не описываются средствами SIP. Тело SIP сообщения содержит описание сессии, выполненное в формате другого протокола. Один из таких протоколов – Session Description Protocol (SDP). Это SDP сообщение (не указано в примере) переносится SIP сообщением так же, как документ прикреплённый к сообщению электронной почты или web-страница, переносимая в сообщении протокола HTTP.

Поскольку softphone не располагает сведениями о местоположении пользователя В или имени SIP сервера в домене domainB.ru, он посылает INVITE SIP серверу, обслуживающему домен пользователя А, domainA.ru. Адрес SIP сервера domainA.ru, может быть занесён в конфигурацию SIP-приложения пользователя А или, например, определён с помощью протокола динамической конфигурации узла DHCP. SIP-сервер domainA.ru является прокси-сервером - сервером, получающим SIP запросы и пересылающим их от имени пользователя. В данном сценарии прокси-сервер получает запрос INVITE и посылает обратно SIP-приложению пользователя А ответ с кодом 100 (Trying). Этот ответ информирует о том, что INVITE был получен и прокси-сервер выполняет работу по маршрутизации запроса к месту назначения.

Ответы в протоколе SIP характеризуются трёхзначным кодом и следующей за ним уточняющей фразой. Такой ответ содержит те же значения заголовков To, From, Call-ID, Cseq и параметра «branch» в заголовке Via, что и INVITE, что позволяет коррелировать этот ответ с отосланным запросом. Прокси-сервер domainA.ru определяет местонахождение прокси-сервера в домене domainB.ru, вероятно путём выполнения DNS-процедур определённого типа по поиску прокси-сервера, обслуживающего домен domainB.ru. В результате он получает IP-адрес прокси-сервера domainB.ru и пересылает ему запрос INVITE. Перед пересылкой, прокси-сервер добавляет дополнительное значение заголовка Via, которое содержит его собственный адрес (INVITE уже включает адрес пользователя А в первом значении заголовка Via). Прокси-сервер domainB.ru

получает INVITE и передаёт обратно ответ с кодом 100 (Trying), указывающий прокси-серверу domainA.ru, что получил запрос INVITE и занимается его обработкой. Прокси-сервер обращается к базе данных, обычно называемой сервером определения местоположения (location server), которая содержит текущий IP-адрес пользователя В. Прокси-сервер добавляет значение заголовка Via со своим адресом в INVITE и пересылает его на SIP-телефон пользователя В.

SIP-телефон пользователя В получает INVITE и оповещает пользователя о входящем вызове от User А так, чтобы User В мог решить, будет ли он отвечать на звонок, другими словами телефон пользователя В звонит. SIP-телефон указывает это явление в ответе с кодом 180 (Ringing), который маршрутизируется обратно через два прокси-сервера в обратном порядке. Каждый прокси-сервер использует значение в заголовке Via для того, чтобы определить, куда посылать запрос, и удаляет свой собственный адрес, находящийся на первом месте. В результате, в противовес тому, что для маршрутизации начального запроса INVITE требовалось выполнения поиска, связанного с DNS-процедурами и сервисом определения местоположения, ответ с кодом 180 может быть возвращён вызывающему пользователю без выполнения поиска и без сохранения состояний в прокси-серверах. Благодаря механизму работы с заголовком Via, прокси-серверы, видевшие INVITE, увидят и все ответы на него.

Когда softphone пользователя А получает ответ с кодом 180 (Ringing), он передаёт эту информацию пользователю А, возможно используя звуковой сигнал КПВ или отображая сообщение на экране терминала пользователя А.

В приведённом примере User В решает ответить на звонок. Когда он поднимает трубку, его SIP-телефон посылает ответ с кодом 200 (OK) для того, чтобы указать, что User В принял вызов. Ответ с кодом 200 (OK) содержит тело сообщения с вариантом SDP-описания сессии, которую желает установить User В с User А. В результате происходит двухэтапный процесс обмена SDP-сообщениями: от User А к User В и обратно от User В к User А. Этот обмен обеспечивает возможности по согласованию параметров и базируется на простой модели **offer/answer** (предложение/ответ) SDP-обмена. Если User В не пожелал бы отвечать на звонок или был занят другим вызовом, то вместо ответа с кодом 200 был бы отослан ответ с кодом ошибки, что не привело бы к установлению сессии. Ответ с кодом 200 (OK) (сообщение F9 на рис.1.1) может выглядеть следующим образом:

```
SIP/2.0 200 OK
Via: SIP/2.0/UDP server10.domainB.ru
    ;branch=z9hG4bKnashds8;received=192.0.2.3
Via: SIP/2.0/UDP bigbox3.site3.domainA.ru
    ;branch=z9hG4bK77ef4c2312983.1;received=192.0.2.2
Via: SIP/2.0/UDP pc33.domainA.ru
    ;branch=z9hG4bK776asdhds ;received=192.0.2.1
To: User B <sip:userB@domainB.ru>;tag=a6c85cf
From: User A <sip:userA@domainA.ru>;tag=1928301774
Call-ID: a84b4c76e66710@pc33.domainA.ru
```

```
CSeq: 314159 INVITE
Contact: <sip:userB@192.0.2.4>
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 131
```

Первая строка ответа содержит код ответа (200) и Reason-Phrase - уточняющую фразу (OK). В последующих строках содержатся поля заголовков. Заголовки Via, To, From, Call-ID и CSeq копируются из запроса INVITE (в ответ включено три значения заголовка Via – одно добавлено SIP-приложением User A, второе – прокси-сервером domainA.ru и третье – прокси-сервером domainB.ru). SIP-телефон пользователя B добавляет параметр «tag» в заголовок To – он будет использоваться во всех последующих запросах и ответах данного вызова. Заголовок Contact содержит URI, который характеризует текущее местонахождение User B. Заголовки Content-Type и Content-Length описывают тело сообщения (не показанное в примере), содержащее SDP-описание сессии пользователя B.

Помимо DNS-поиска и сервиса определения местоположения, показанного в данном сценарии, прокси-серверы могут решать вопросы, связанные с маршрутизацией запроса. Например, если SIP-телефон User B возвращает ответ с кодом 486 (Busy Here), прокси-сервер domainB.ru может переслать INVITE на сервер голосовой почты пользователя B. Прокси-сервер также может послать INVITE одновременно на несколько терминалов, где может находиться пользователь. Такой тип параллельного поиска получил название размножение запросов.

В рассматриваемом случае ответ с кодом 200 маршрутизируется обратно через два прокси-сервера и приходит на SIP-приложение пользователя A, которое прекращает подачу сигнала КПВ и сообщает о том, что вызываемый пользователь принял вызов. В итоге, SIP-приложение User A посылает сообщение подтверждения ACK для того, чтобы подтвердить принятие окончательного ответа (200(OK)). В приведённой диаграмме ACK посылается напрямую от SIP-приложения User A SIP-телефону User B, обходя прокси-серверы. Это происходит из-за того, что конечные точки узнали адреса друг друга из заголовков Contact при обмене INVITE/200 (OK). Процедуры поиска, выполняемые прокси-серверами более не нужны – поэтому прокси-серверы выпадают из процесса обслуживания вызова. Подтверждение завершает INVITE/200/ACK трехэтапное согласование, используемое для установления SIP сессии. Медиа-сессия между User A и User B теперь считается установленной, и они отсылают пакеты с речевой информацией, используя формат, принятый при обмене SDP. В общем случае передающиеся по сквозному принципу речевые пакеты транспортируются по маршруту, отличному от пути следования SIP сигнальных сообщений.

В конце вызова User B первым вешает трубку – при этом создаётся сообщение BYE. Это сообщение маршрутизируется напрямую SIP-приложению User A опять в обход прокси-серверов. User A подтверждает получение BYE посылкой ответа с кодом 200 (OK),

который завершает сессию BYE-транзакцию. Подтверждения ACK не посылаются – ACK используется только для подтверждения ответов на запрос INVITE.

В некоторых случаях для прокси-серверов, через которые проходит SIP сигнальный тракт, может оказаться полезным, чтобы они видели все сообщения, передающиеся между конечными точками на протяжении всей сессии. Например, если прокси-сервер domainB.ru желает остаться на пути следования SIP сообщений после пересылки начального запроса INVITE, он должен добавить в запрос INVITE требуемый маршрутизирующий заголовок, называемый Record-Route, содержащий URI – имя узла или IP-адрес – прокси-сервера. Эта информация будет получена и SIP-телефоном User B, и (из-за того, что заголовок Record-Route передаётся обратно в ответе с кодом 200 (OK)) SIP-приложением User A и будет сохранена на время диалога. Прокси-сервер domainB.ru после этого получит и перешлёт запросы ACK, BYE и ответ 200 (OK) на BYE. Каждый прокси-сервер может независимо принять решение о том, нужно ли ему принимать последующие сообщения, и эти сообщения будут проходить через все прокси-серверы, которые приняли такое решение. Эта функциональная возможность зачастую используется для прокси-серверов, которые обеспечивают функции в ходе разговорной сессии.

Заключение

В дипломной работе было произведено исследование особенностей и построение функциональной модели последней версии протокола сигнализации для сетей IP-телефонии - SIP. В соответствии с последними документами RFC комитета IETF, получившими статус стандарта, при построении модели была собрана воедино вся информация, касающаяся протокола SIP и его как основных, так и дополнительных функций.

В работе были подробным образом освещены вопросы, связанные с типами, составом и назначением сообщений обновлённой версии протокола, основными и вспомогательными процедурами управления соединением. Рассмотрен вопрос, касающийся назначения и функциональности логических элементов сети SIP. Проведено исследование новых механизмов, расширяющих функциональные возможности SIP. Была рассмотрена архитектура сети, построенной на базе протокола SIP, и система адресации, принятая в ней. В заключении были приведены основные сценарии взаимодействия по протоколу SIP, в которых рассмотренные элементы сети SIP в рамках процесса управления вызовом осуществляют обмен сообщениями.

Было выполнено сравнение исходной [2] и новой [1] версий протокола. Сравнение произведено в следующих направлениях: изменения в части процедур управления вызовом и изменения в части функциональности сетевых элементов и функциональных возможностей протокола. По результатам выполнен анализ выявленных изменений.

Последняя глава посвящена вопросам практической реализации тестирующего оборудования протокола SIP. Для алгоритмов обмена сообщениями между элементами сети SIP, были разработаны SDL-диаграммы, позволяющие облегчить процесс создания ПО соответствующего оборудования. Кроме того был освещен вопрос, касающийся сигнальных единиц протокола SIP и их содержимого.

Часть работы выполнялась в рамках подготовки проекта технического задания на разработку тестера сигнального протокола IP-телефонии SIP. Подробное описание процедур взаимодействия элементов сети SIP, детализованное описание требований к функциональности каждого из элементов сети, а также разработанные SDL-алгоритмы могут быть использованы в качестве теоретической базы при проектировании устройства SIP-тестер. Кроме того, результаты работы были использованы при подготовке материалов справочника по протоколу сигнализации SIP для технических специалистов и в учебном процессе СПбГУТ.

Список использованных материалов

1. Rosenberg J., Schulzrinne H., Camarillo G., Johnston A., Peterson J., Sparks R., Handley M., E. Schooler "SIP: Session Initiation Protocol", RFC 3261.
2. M.Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler, J. Rosenberg "SIP: Session Initiation Protocol" RFC 2543.
3. J. Franks, P. Hallam-Baker, J. Hostetler, S. Lawrence, P. Leach, A. Luotonen, L. Stewart "HTTP Authentication: Basic and Digest Access Authentication" RFC 2617.
4. Donovan S. "The SIP INFO Method", RFC 2976.
5. J. Rosenberg, H. Schulzrinne "Reliability of Provisional Responses in SIP" RFC 3262.
6. A. B. Roach "SIP - Specific Event Notification" RFC 3265.
7. J. Rosenberg "SIP UPDATE Method" RFC 3311.
8. R. Sparks "SIP Refer Method" RFC 3515.
9. A. Johnston, A. Johnston, R. Sparks, C. Cunningham, K. Summers "SIP Basic Call Flow Examples" RFC 3665.
10. J. Rosenberg, H. Schulzrinne "SIP: Locating SIP Servers" RFC 3263.
11. J. Peterson "Privacy Mechanism for SIP" RFC 3323.
12. H. Schulzrinne, D. Oran, G. Camarillo "The Reason Header Field for SIP" RFC 3326.
13. G. Camarillo, W. Marshall, J. Rosenberg "Integration of Resource Management and SIP" RFC 3312.
14. W. Marshall "Private SIP Extensions for Media Authorization" RFC 3313.
15. C. Jennings, J. Peterson, M. Watson "Private Extensions to SIP for Asserted Identity within Trusted Networks" RFC 3325.
16. D. Willis, B. Hoeneisen "SIP Extension Header Field for Registering Non-Adjacent Contacts" RFC 3327.
17. J. Arkko, V. Torvinen, G. Camarillo, A. Niemi, T. Haukka "Security Mechanism Agreement for SIP" RFC 3329.
18. B. Campbell, J. Rosenberg, H. Schulzrinne, C. Huitema, D. Gurle "SIP Extension for Instant Messaging" RFC 3428.
19. M. Garcia-Martin, E. Henrikson, D. Mills "Private Header (P-Header) Extensions to SIP for the 3rd-Generation Partnership Project (3GPP)" RFC 3455.
20. W. Marshall, F. Andreasen "Private SIP Proxy-to-Proxy Extensions for Supporting the PacketCable Distributed Call Signaling Architecture" RFC 3603.
21. D. Willis, B. Hoeneisen "SIP Extension Header Field for Service Route Discovery During Registration" RFC 3608.
22. Гольдштейн Б.С. Пинчук А.В. Суховицкий А.Л. IP – телефония. М.: Радио и связь, 2001.