

目 次

第 1 章.	はじめに	2
第 2 章.	従来研究とその課題	4
第 2.1 節.	HCAP	4
第 2.2 節.	SoftEther	5
第 3 章.	SoFW の概要と実現方法	6
第 3.1 節.	SoFW の概要	6
第 3.2 節.	システム開始から通話までの流れ	7
第 3.3 節.	トンネル中継のための SIP メッセージの整合化	9
第 3.4 節.	トンネル中継のための SIP メッセージ経路決定	10
第 3.5 節.	SDP の修正による音声ストリーム誘導	10
第 3.6 節.	RAT による音声ストリーム経路決定	12
第 4 章.	実装	14
第 5 章.	スループット測定の結果と考察	17
第 6 章.	おわりに	21
付録	SoFW 仕様書	

内容概要

ブロードバンドの普及や ISP 間のバックボーンの整備により, IP 電話の実用レベルの品質保証が可能となり, 企業や一般家庭に IP 電話が普及しつつある. しかし, 企業ネットワークには外部ネットワークとの間にファイアウォール・NA(P)T・プロキシサーバなどが存在するため, 企業ネットワークとその外部ネットワークに接続した端末同士では VoIP (Voice over IP) による通信は容易ではない. 本研究では 2 台のリレーエージェントをグローバルアドレス環境とプライベートアドレス環境に設置し, HTTP トンネルを生成することにより VoIP 通信を可能とするシステム SoFW (SIP over FireWall) を提案する. 提案方式の実装を行い評価したので, その結果を報告する.

第1章.はじめに

ブロードバンドの普及や ISP 間のバックボーンを整備により、ネットワークの伝送容量が大幅に増加し、IP 電話は十分な通信品質を確保できるようになった。これに伴い、多くの企業は VPN(Virtual Private Network)を構築した支社同士の通話料金の削減や、IP 電話特有の機能、アプリケーションとの連携による生産性向上を期待して社内 LAN への IP 電話導入を進めてきた。しかし、企業ネットワークには外部ネットワークとの間にファイアウォール[1]やアドレス変換装置 (Network Address Translator:以下 NAT) [2] が存在するため、企業ネットワークとその外部のネットワークに接続した端末同士での外線通話には VoIP (Voice over IP) [3]の利用は困難である[4]。企業・外部ネットワーク間において VoIP が安全に利用できるようになれば IP 電話の利便性は更に向上されるものと考えられる。

VoIP のセッション開始プロトコルとして、既存の電話仕様をベースに早期に ITU-T(International Telecommunication Union - Telecommunication)によって標準化された H.323[5]がある。しかし、現在は IETF (Internet Engineering Task Force) によって標準化された SIP (Session Initiation Protocol) [6]が実装も容易で拡張性に優れており、様々なマルチメディア・サービスに利用できるため注目されている。現在、ISP が提供している IP 電話のほとんどが SIP を採用している[7][8]。SIP は主にユーザエージェントと SIP サーバで構成されており、SIP サーバにユーザエージェントの位置情報を登録し、この位置情報を元にダイヤルメッセージの中継を行う機能を提供する。しかし、SIP はダイヤル開始時に相手端末の IP アドレスが特定できるか、相手端末の属する SIP サーバの IP アドレスが特定できることが必須である。そのため、NAT が介在するような環境ではダイヤルを開始できないという課題がある。また、企業などのファイアウォールは多くの場合、メールや内部から外部への Web サーバアクセスなどに通信を限定しており、それ以外の通信を遮断してしまう。このような制限を受けたネットワークに IP 電話を導入し、外部との通話に利用しようとする、企業のセキュリティポリシーの変更が必要になる上、それに伴うセキュリティ低下の恐れが発生する。

そこで、ファイアウォールや NAT などによって IP 電話としての機能を制限されることのないシステムがいくつか提案されている。これらはファイアウォールの許可する通信を動的に操作する方法と、HTTP などの予めファイアウォールが通信を許可しているプロトコルを利用して通信する方法の 2 種類に分けられる。

前者は IETF でもいくつかの関連技術が提案されており[9]~[13]、多くのベンダーによって製品化されている。この方式はピンホール・ファイアウォールと呼ばれ、例として文献[14]の手法ではファイアウォールがダイヤルを監視し、そのダイヤルによって開始される音声通信のみを許可するようにフィルタ処理を動的に変更する。しかし、ピン

ホール・ファイアウォールを利用した音声通信では不特定多数の IP アドレスとポート番号を使った UDP の通信が利用されるため、企業によってはセキュリティポリシーの変更が必要となり、またファイアウォールへのモジュール追加や新規の VoIP 専用ゲートウェイ設置が必要とされるため、導入には手間がかかる。

後者の代表的なシステムとして HCAP[15]、Skype[16]などの IP 電話専用システムと、全アプリケーションのファイアウォールの通過を可能にする SoftEther[17]がある。

HCAP や Skype はファイアウォールの外側に設置された中継サーバと電話端末間で HTTP トンネルを張ることにより、Web を閲覧できる環境であれば IP 電話による通話が可能になる。しかし、端末に特殊な機能が必要なため、企業ネットワークに導入するには IP 電話端末の総入れ替えが必要である。

SoftEther はファイアウォール外部の仮想 HUB というソフトウェアと内部の仮想 LAN カードというソフトウェア間で HTTPS などのトンネルを張り、仮想イーサネット環境を構築する。しかし、この方法は仮想イーサネット内での IP アドレスと MAC アドレスの統一的管理を要すること、内部のネットワークが外部にさらされる危険があるなどの課題があり、外線用 IP 電話として企業ネットワークへ導入することは難しい。

そこで本研究ではファイアウォールの内部と外部に 1 台ずつリレーエージェントと呼ぶ装置を設置し、その間にダイヤル用と音声ストリーム用に HTTP トンネルを張り、全ての端末からの SIP メッセージと音声ストリームをこのトンネルに通す SoFW (SIP over FireWall) を提案する。SoFW はリレーエージェントの導入のみでファイアウォール越えを実現するため、既存の SIP 端末に影響を与えないという利点がある。2 台のリレーエージェントがグローバルアドレスとプライベートアドレスの 2 つのインタフェースを持つ 1 台の SIP サーバとしての役割を果たすため、IP アドレス管理にも一切影響を与えない。本稿ではさらに SoFW の実装方式を検討し、実機を用いて性能評価を行ったのでその結果について報告する。

以下、2 章で従来研究とその課題について説明し、3 章で提案システム SoFW の概要について述べる。4 章では実装方式について、5 章では評価について説明し、6 章でまとめとする。

第2章. 従来研究とその課題

ファイアウォール（以下 FW）を通過する従来研究の類似システムとして HCAP と SoftEther をとりあげ、その方式と課題について簡単に説明する。なお SoftEther は全てのアプリケーションで FW/NA(P)T を通過できるシステムであるため、SoftEther を導入した仮想ネットワーク上に IP 電話機器を設置する場合を想定した。

第2.1節. HCAP

HCAP では図 1 のように FW の DMZ 上などのグローバルなアドレス空間に中継サーバが設置され、プライベートアドレス空間となる企業ネットワーク内には HCAP 対応機能を内蔵した端末が設置される。HCAP 端末立ち上げ時に端末から中継サーバへ HTTP で接続して、トンネル経路を作る。HTTP の CGI の機能を利用して、セッションの開始を行い、音声ストリームは HTTP の GET メソッドに対するレスポンスと POST メッセージに埋め込んで中継する。HCAP は外部の Web サイトを閲覧できる環境であれば、FW/NAT を通過できる。また、グローバルアドレス空間上の端末に対しては UDP の利用もできる。しかし、端末に特殊な機能が必要であるため、企業ネットワークに導入するには IP 電話端末の総入れ替えが必要である。

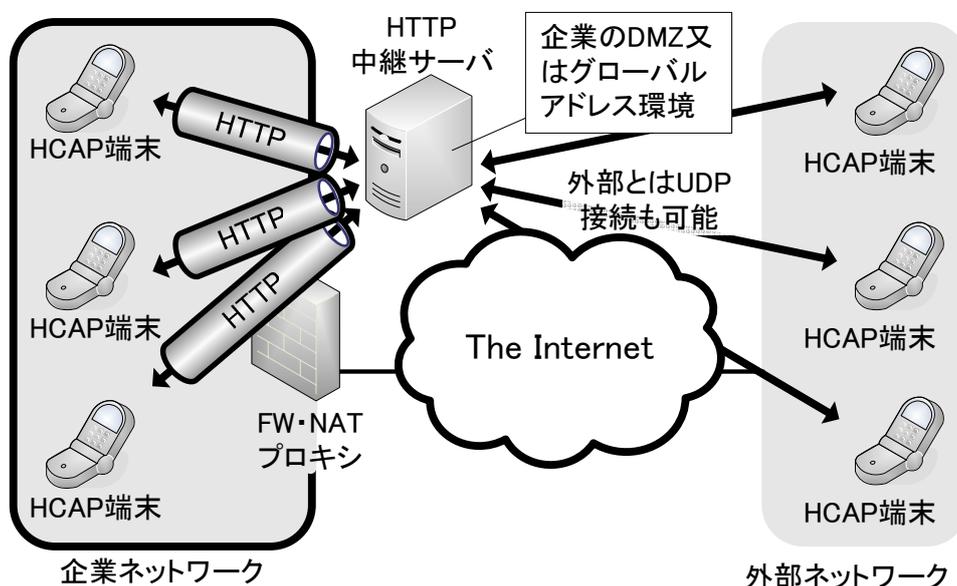


図 1. HCAP の概念図

第2.2節. SoftEther

図2にSoftEtherによる仮想イーサネットとその上にSIPによるIP電話ネットワークを構築した例を示す。SoftEtherはFW内部の端末に仮想LANカードと呼ばれる機能を、外部のサーバ端末に仮想HUBと呼ばれる機能を組み込む。通信に先立ち仮想LANカードは仮想HUBに対してHTTPSやSSHなどのFWを越えられるプロトコルで接続し、トンネルを作る。このとき仮想LANカードには仮想MACアドレス・仮想IPアドレスが割り当てられる。仮想LANカードはトンネルに仮想イーサフレームを送信し、仮想HUBがイーサフレームの経路決定を行い、該当する端末に転送することにより仮想イーサネット環境を作る。各端末はこの仮想イーサネット環境を利用して、FW/NATの有無に関わらずあらゆる通信を自由に行うことができる。また、仮想LANカードを導入した端末と通常のイーサネットをブリッジ接続することにより、ネットワークごと外部に繋ぐことも可能である。仮想イーサネット上でIP電話を利用するには仮想イーサネット上にIP電話要素を導入すればよい。しかし、この方式では本来FWに守られているはずのネットワークを危険にさらしてしまうためFWの意味がなくなる。また、仮想ネットワーク内のアドレスを統一的に管理する必要があり、外線用IP電話として利用するのは難しい。

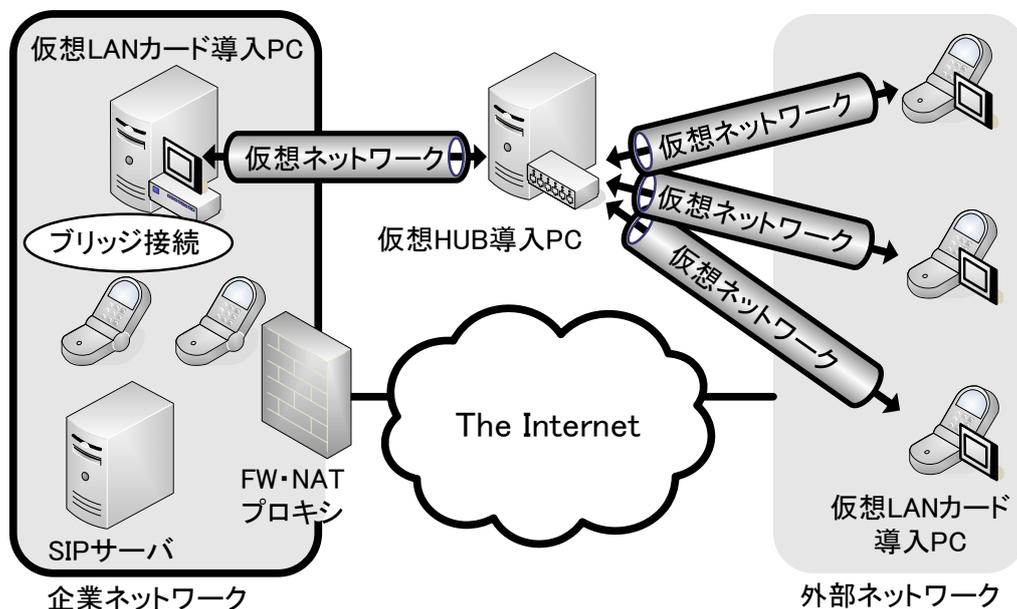


図2. SoftEther の概念図

第3章. SoFW の概要と実現方法

これらの課題を解決するために、グローバルアドレス環境上と企業のプライベートアドレス環境上に設置した2台のリレーエージェントで HTTP トンネルを作り、IP 電話の通信を通過させる方法を提案する。

第3.1節. SoFW の概要

SoFW の構成を図3に示す。SoFW では SIP サーバの代わりに内部のプライベートアドレス環境上に HRAC (Half Relay Agent Client), 外部のグローバルアドレス環境上に SIP サーバを備えた HRAS (Half Relay Agent Server) を設置する。システム立ち上げ時において、ダイヤルメッセージと音声の中継するための HTTP トンネルを HRAC/HRAS 間で構築する。HRAC/HRAS はグローバル IP アドレスとプライベート IP アドレスのインタフェースを持つ仮想的な一つの SIP サーバとして機能する。

SoFW では、端末とは独立して HTTP トンネルを設置するため、既存の SIP 端末をそのまま利用することができる。これは企業が既に SIP ネットワークを構築していた場合、特に有効である。さらに IP アドレスの管理形態を全く変える必要がなく、SIP に限定した安全な通話ができる。

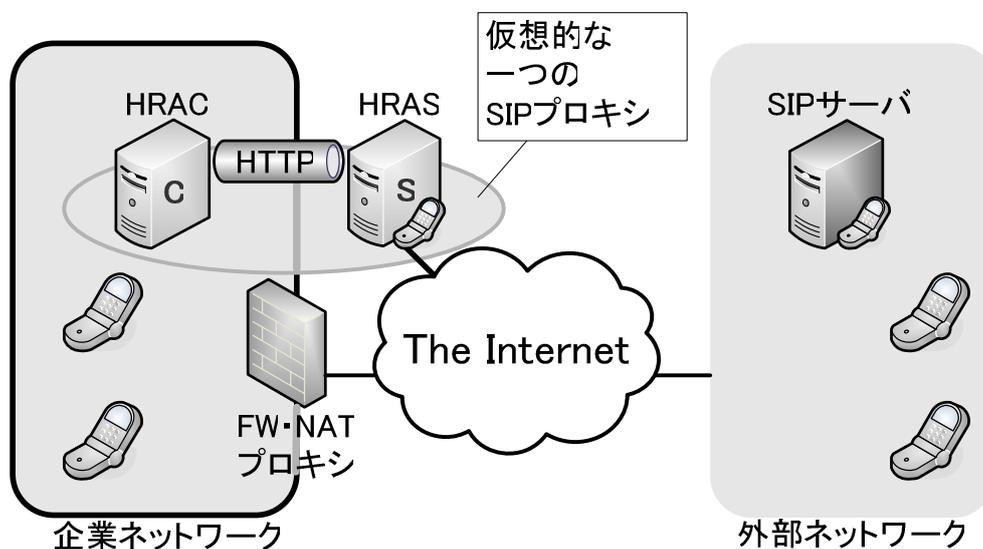


図3. SoFW の構成

第3.2節. システム開始から通話までの流れ

外部端末からダイヤルを開始し、内部端末が通話を終了する場合を例に取って、システム起動時から通話終了までのシーケンスを図4に示す。システムを起動すると HRAC と HRAS は2点間でトンネル生成を行う。HRAC は HRAS に対して4つの TCP コネクションを確立し、HTTP (RFC2616) に準拠する GET リクエストと POST リクエストメッセージをそれぞれ SIP メッセージ/音声通信用に送信する。HRAS は GET リクエストを受け取ると 200OK レスポンスのヘッダ部を返す。この後、HRAC と HRAS は端末から SIP メッセージが送信されるまで待機し、以降の SIP メッセージ/音声ストリームを受信すると HTTP メッセージのボディ部として中継する。次に登録処理では内部の SIP 端末は自身の位置情報を HRAS の SIP サーバに伝えるため REGISTER リクエストを HRAC に送信する。HRAC はリクエストを HRAS に中継し、HRAS から返信される 200OK レスポンスを内部 SIP 端末に返す。上記処理により外部 SIP 端末からの通話開始ネゴシエーションの開始が可能となる。外部 SIP 端末は INVITE リクエストを HRAS の SIP サーバ宛に送信する。HRAS の SIP サーバは内部 SIP 端末を特定し HRAC を中継して端末に INVITE リクエストを転送する。ダイヤルを受けた内部 SIP 端末は呼出し中を意味する 180 Ringing レスポンスを返し、フックオフすると 200OK レスポンスを返す。同様に呼び出し側がフックオフしたときに送信される応答確認の ACK メッセージや他の全ての SIP メッセージは HRAC・HRAS を中継して通信する。このとき、通常の SIP ネゴシエーションであれば初めのリクエストが端末に届いた後は端末間で直接通信を行おうとする。SoFW では全ての SIP メッセージを HRAC・HRAS で中継するため、SIP のオプションを利用して、全てのメッセージを SIP サーバに中継させる。ネゴシエーションが終わると音声通信が開始される。外部端末は HRAS へ、内部端末は HRAC へ音声ストリームを送信し続ける。HRAS/HRAC はその音声ストリームを対応する端末へ中継する。最後に通話終了ネゴシエーションはフックオンを告げる BYE メッセージと確認応答 ACK が HRAS/HRAC によって中継され、通話が終了する。

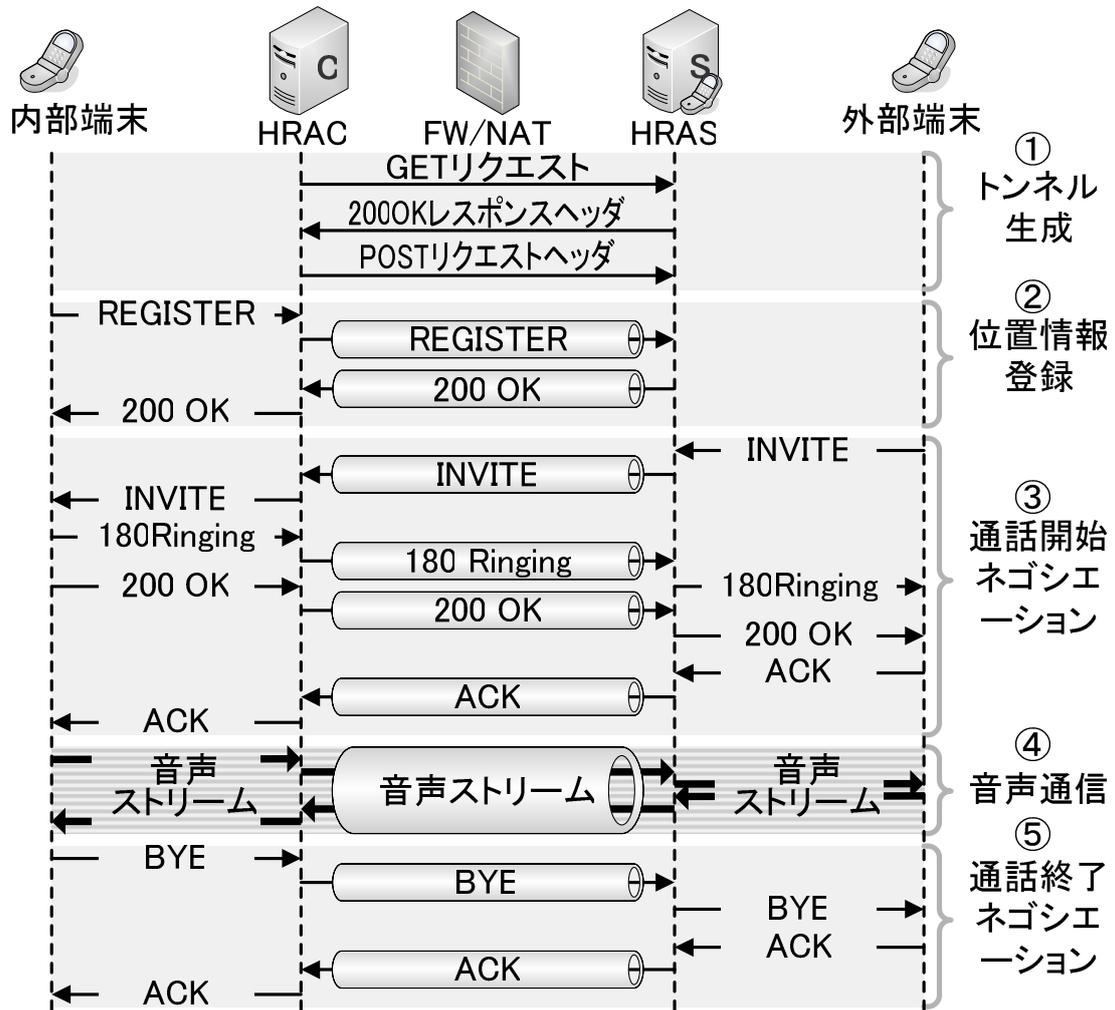


図 4. HTTP トンネル生成から中継までのシーケンス

第3.3節. トンネル中継のための SIP メッセージの整合化

SIP 端末が SIP サーバに登録するには SIP サーバの IP アドレス、もしくはドメインを必要とする。SoFW では内部 SIP 端末はトンネルのプライベート側のインタフェースを持つ HRAC の IP アドレスを SIP サーバと見なして指定する。また、外部 SIP 端末はトンネルのグローバル側のインタフェースを持つ HRAS の IP アドレスを内部 SIP 端末の属する SIP サーバと見なして指定する。これらの IP アドレスは端末で生成される SIP メッセージのヘッダ情報に記述されるため、外部端末と内部端末がメッセージを交換する際に、外部から送信される SIP メッセージと内部から送信される SIP メッセージに記述される SIP サーバの IP アドレスが一致せず、このままではネゴシエーションが成立しない。そのため以下に示すような SIP メッセージの整合化を行う。図 5 にその概念図を示す。HRAS は内部端末から SIP メッセージを受信した場合、SIP サーバにメッセージを渡す前にメッセージ中の SIP サーバの IP アドレスに対する記述を HRAC から HRAS の IP アドレスに書き換える。逆に外部端末からの SIP メッセージを受信した場合は、HRAC へ送信する前に SIP サーバの IP アドレスに対する記述を HRAS から HRAC の IP アドレスに書き換える。この処理により、外部からの SIP メッセージと内部からの SIP メッセージのヘッダ部に記述された SIP サーバの IP アドレスは一致し、ネゴシエーションは成立する。

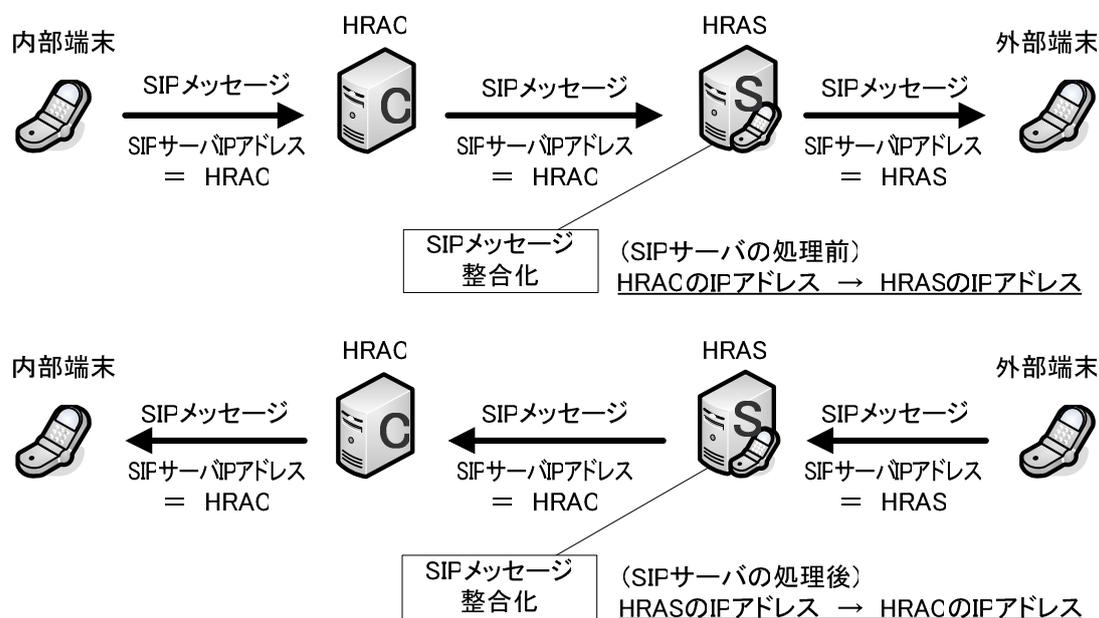


図 5. SIP メッセージの整合化

第3.4節. トンネル中継のための SIP メッセージ経路決定

既存の SIP サーバは、SIP サーバからその SIP サーバに登録している端末へのメッセージは直接端末へ送信される。しかし、SoFW では SIP サーバから登録端末へのメッセージは HRAC を中継するため、端末の IP アドレスをメッセージの宛先に直接指定できない。図 6 に INBOUND (外部から内部へのダイヤル) の SIP メッセージ経路決定の概念図を示す。SoFW では INBOUND の SIP メッセージを処理する際、HRAC は SIP ヘッダに記述された宛先端末の IP アドレスを参照し、中継先を特定する。REGISTER リクエストの 200OK レスポンス、その他全てのリクエストメッセージ、レスポンスメッセージごとに端末の IP アドレスが記述される箇所がそれぞれ異なるため、メッセージの種類ごとに適応する箇所を参照し、宛先を決定する。

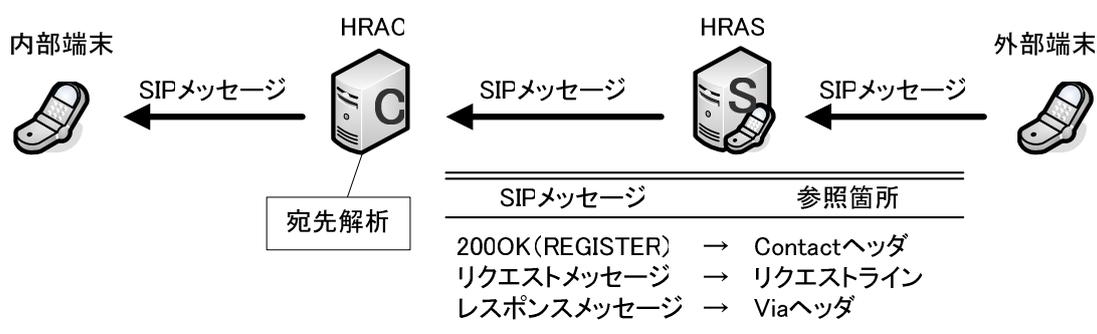


図 6. INBOUND の SIP メッセージ経路決定

第3.5節. SDP の修正による音声ストリーム誘導

SoFW では SIP メッセージだけではなく、音声ストリームも HRAC・HRAS 間の HTTP トンネルを中継させる。しかし、通常の SIP 端末の仕様では音声ストリームはエンド端末同士で直接交換される。SoFW では通常の SIP 端末から送信される音声ストリームを HTTP トンネルに誘導するために、SIP メッセージの INVITE リクエストとその 200OK レスポンスが HRAS に到達すると、メッセージボディ部の SDP[18]で記述されるタイプ値の修正を行う。この処理により、内部端末は HRAC を、外部端末は HRAS を通信相手とみなすこととなり、端末の機能を変更することなく HTTP トンネルを介した音声通信が可能となる。SDP 修正の手順を図 7 に示す。SDP にはそのセッションの音声通信に必要な送信側ユーザエージェントの様々な情報がタイプ値として記述される。タイプにはメッセージ送信側の端末が音声通信に使用する IP アドレス・ポート番号やコーデック方式などがあり、端末は SDP を SIP メッセージのボディに記述することにより、音声通信に先立ち互いの音声通信情報を交換する。HRAS は、内部ネットワーク

端末から送信された SDP の IP アドレス・ポート番号の値を HRAS の IP アドレス・ポート番号に、また外部ネットワーク端末から送信された SDP の IP アドレス・ポート番号の値を HRAC の IP アドレス・ポート番号に書き換える。修正された SDP を受け取った内部端末は音声ストリームの宛先を HRAC、外部端末は HRAS と認識して音声通信を開始するため、音声ストリームは HTTP トンネルに誘導される。

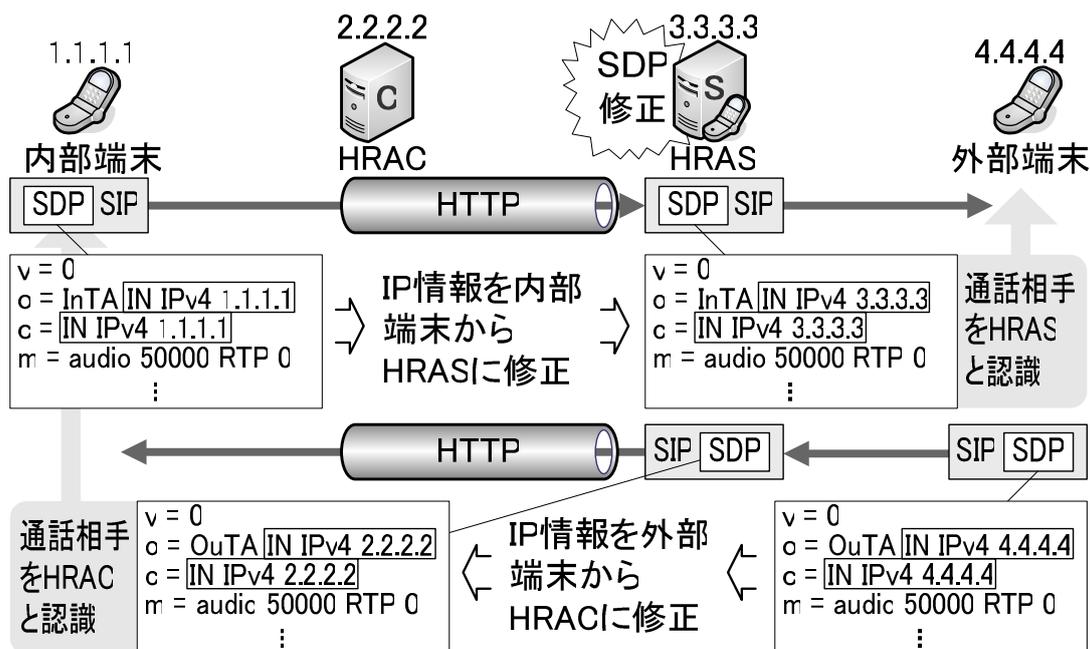


図 7. SDP 修正の手順

第3.6節. RATによる音声ストリーム経路決定

ダイヤル時は、SIPによりアプリケーションレベルでエンド端末の宛先情報を保持しており、HRAC・HRAS間ではこれを利用して中継を行う。しかし、音声ストリームは宛先IPアドレス情報をIPヘッダのみにしか持たない。第3.4節で記述したように、端末は音声ストリームの宛先IPアドレスをHRACもしくはHRASに指定するよう誘導されるため、HRAC・HRASでは宛先端末のIPアドレス情報を持たない音声ストリームに対して適切な経路決定を行う方法が必要になる。SoFWではSIPメッセージの通信時にSIPヘッダとSDPの情報からSoFW特有のRAT (Relay Agent Table) と呼ぶテーブルをHRASで生成し、音声通信時にはこのテーブルを参照して音声ストリームの経路決定を行う。RATは音声通信を行う両端末を対応させた情報を保持する。

RATの内容を表1に示す。To, From, Call-IDはSIPメッセージのヘッダ情報であり、この3つを合わせて通信を識別するダイアログIDとなる。IIP・IPortはSDPから得られる内部端末のIPアドレス・ポート番号、OIP・OPortは外部端末のIPアドレス・ポート番号の値が書き込まれる。図8に内部ネットワーク端末からダイヤルを開始する場合のRAT生成の流れを示す。SDPはSIPの発呼側の開始メッセージであるINVITEリクエストと受信側の応答である200OKレスポンスのボディ部に記述される。HRASはINVITEリクエストを受信すると、メッセージのヘッダ部からダイアログIDをRATに書き込み、SDPからはIPアドレス・ポート番号をIIP・IPortフィールドに書き込む。次に200OKレスポンスを受信するとメッセージのダイアログIDが一致するRATレコードを検索し、SDPに記述されているIPアドレス・ポート番号をOIP・OPortとして追記する。

ダイヤルが完了し、音声通信が開始されるとHRASのRATとRAヘッダと呼ぶ独自のヘッダを利用して音声ストリームの経路決定を行う。音声ストリームの処理の流れを図9に示す。音声ストリームが内部から外部へ向けられている場合、HRACはこれを受信すると送信元IPアドレスとポート番号をRAヘッダとして音声データに付加し、HRASへ送信する。HRASでは受け取ったRAヘッダのIPアドレス・ポート番号からRATで対応する外部端末のIPアドレス・ポート番号を検索し、これを宛先に指定し、音声ストリームを中継する。外部から内部へ向けられた音声ストリームの場合、HRASがこれを受信すると送信元IPアドレスとポート番号からRATによって対応する内部端末のIPアドレス・ポート番号を検索し、RAヘッダとして音声データに付加しHRACへ送信する。HRACはRAヘッダに含まれるIPアドレス・ポート番号を宛先に指定して音声ストリームを中継する。通話を切断する際にはRATからセッションの情報を削除する。HRASがSIPの切断要求であるBYEメッセージを受信すると、そのダイアログIDから該当するRATのレコードを検索して該当レコードの内容を削除する。

表 1. RAT の内容

内容	説明
To	受信者情報 (ダイアログ ID)
From	送信者情報 (ダイアログ ID)
Call-ID	セッション識別子 (ダイアログ ID)
IIP	内部ネットワーク端末の IP アドレス
IPort	内部ネットワーク端末のポート番号
OIP	外部ネットワーク端末の IP アドレス
OPort	外部ネットワーク端末のポート番号

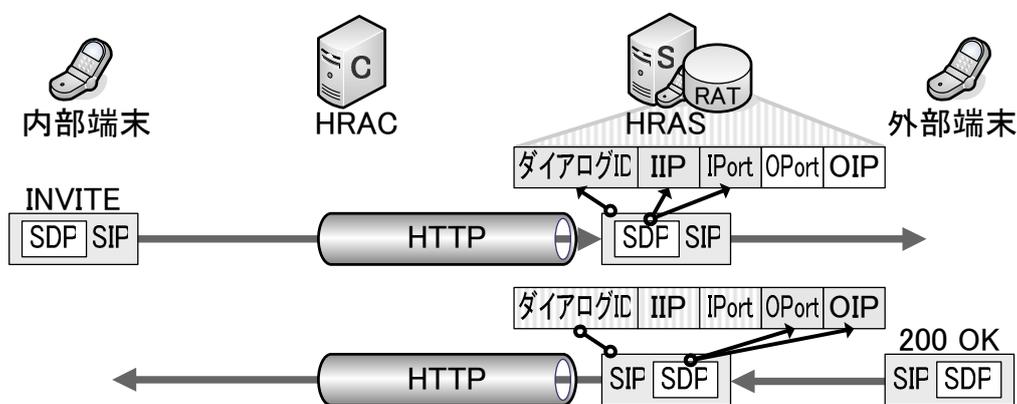


図 8. RAT 生成の流れ

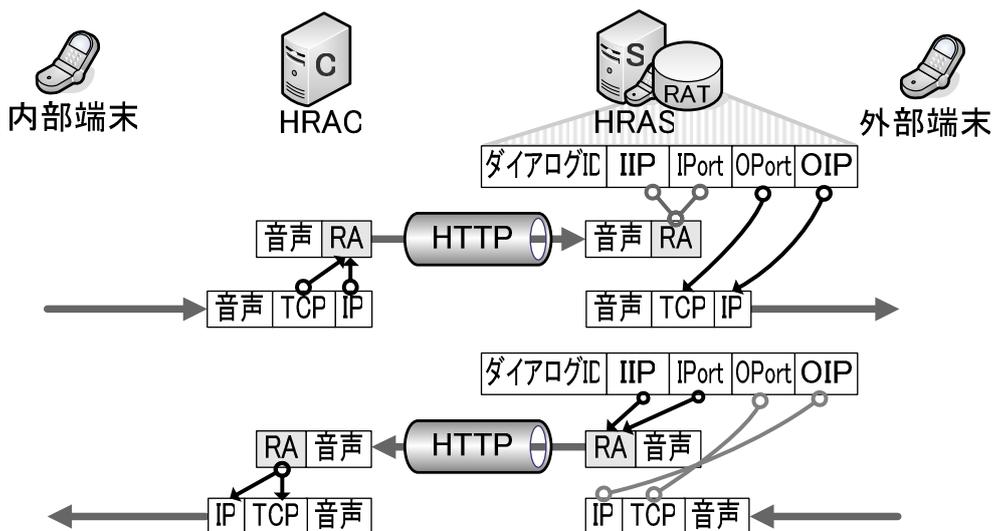


図 9. 音声ストリーム処理の流れ

第4章. 実装

3章で述べた実現方式を HRAC・HRAS の機能として実装した。HRAC と HRAS は、それぞれ一台の FedoraCore3.0 (linux2.6.9) 上のアプリケーションとして実装する。HRAS の SIP サーバ機能はフリーソフトの SIP サーバである SER (SIP Express Router) [19]との連携によって実現する。

処理とデータの流れを図 10 に、表 2 に実現方式と HRAC・HRAS の機能の対応を示す。SoFW の機能は SIP リレーサーバモジュール、SIP リレークライアントモジュール、音声リレーサーバモジュール、音声リレークライアントモジュールに分けられる。SER は HRAS の SIP リレーサーバモジュールと連携する。ダイヤル時、INBOUND の SIP メッセージは HRAS で SER の処理を受けた後、SIP リレーサーバモジュールに渡され、RAT 生成・SDP 修正・SIP 整合、HTTP エンカプセル機能に処理され HRAC へ中継される。HRAC では SIP リレークライアントモジュールで HTTP デカプセルの後、宛先解析が行われ内部端末へ中継される。OUTBOUND の SIP メッセージは SIP リレークライアントモジュールによって HRAS に中継され、HRAS では SIP リレーモジュール・SER によって外部へ中継される。音声通話時、INBOUND の音声ストリームは HRAS の音声リレーサーバモジュールで RAT 検索・RA ヘッダ生成・HTTP エンカプセル機能の順に処理され、HRAC へ送信される。HRAC では音声リレークライアントモジュールで HTTP デカプセル・RA ヘッダ機能の順に処理され、内部端末へ中継される。OUTBOUND の音声ストリームは HRAC で音声リレークライアントモジュールによって HRAS へ中継される。HRAS では音声リレーサーバモジュールによって外部端末へ中継される。

SIP リレーサーバモジュールと SER との間の連携にはソケット通信を利用する。SIP メッセージに対して SER と SIP リレーサーバモジュールの処理を順に個別で行うことによって、HRAS への SER の組み込みを単純にした。SER と SIP リレーサーバモジュールのソケットによる連携を図 11 に示す。図 11 は図 10 の SER と SIP リレーモジュールの境界を詳しく示したものである。SER は外部端末から SIP メッセージを受け取り、処理を行った後ソケットを使い SIP リレーサーバモジュールに渡し、SIP サーバリレーモジュールは HRAC へ中継する。SIP リレーサーバモジュールは HRAC からメッセージを受け取るとソケットを使い SER へ渡し、SER は外部端末へ中継する。また、SER の処理結果がリプライの場合は、外部への中継ではなく、HRAS に返す。以上の流れは、SER に少量の修正を加えることで実現できる。図 11 で示すように SER によって一連の処理を終えた SIP メッセージがソケットに出力される前に、メッセージが外部ネットワーク端末宛のものか内部ネットワーク端末宛のものかを判別し、外部宛であれば通常通り外部へ送信し、内部宛であれば SIP リレーサーバモジュールへ送信するように修正を加える。

SoFW では SIP メッセージや音声ストリームを高速に処理するため並行処理を行う。並行処理を行うことで一つのデータの処理を終える前に次のデータの処理に入ることができ、処理効率が上がる。Linux では平行処理を行うにはマルチプロセス方式とマルチスレッド方式がある。スレッド同士でメモリ空間を共有しているマルチスレッド方式に対して、マルチプロセスはプロセスごとにメモリ空間を用意するため、メモリを共有するにはプロセス間通信という特別な処理を行わなければならない。HRAS では複数のメッセージ処理スレッドもしくはプロセスから頻繁に RAT を参照する。このため、RAT が存在するメモリ空間を予め共有できるマルチスレッド方式の方が処理速度は向上する。できる限りの高速な音声ストリーム転送処理を必要とする本システムではマルチスレッド方式を採用している。

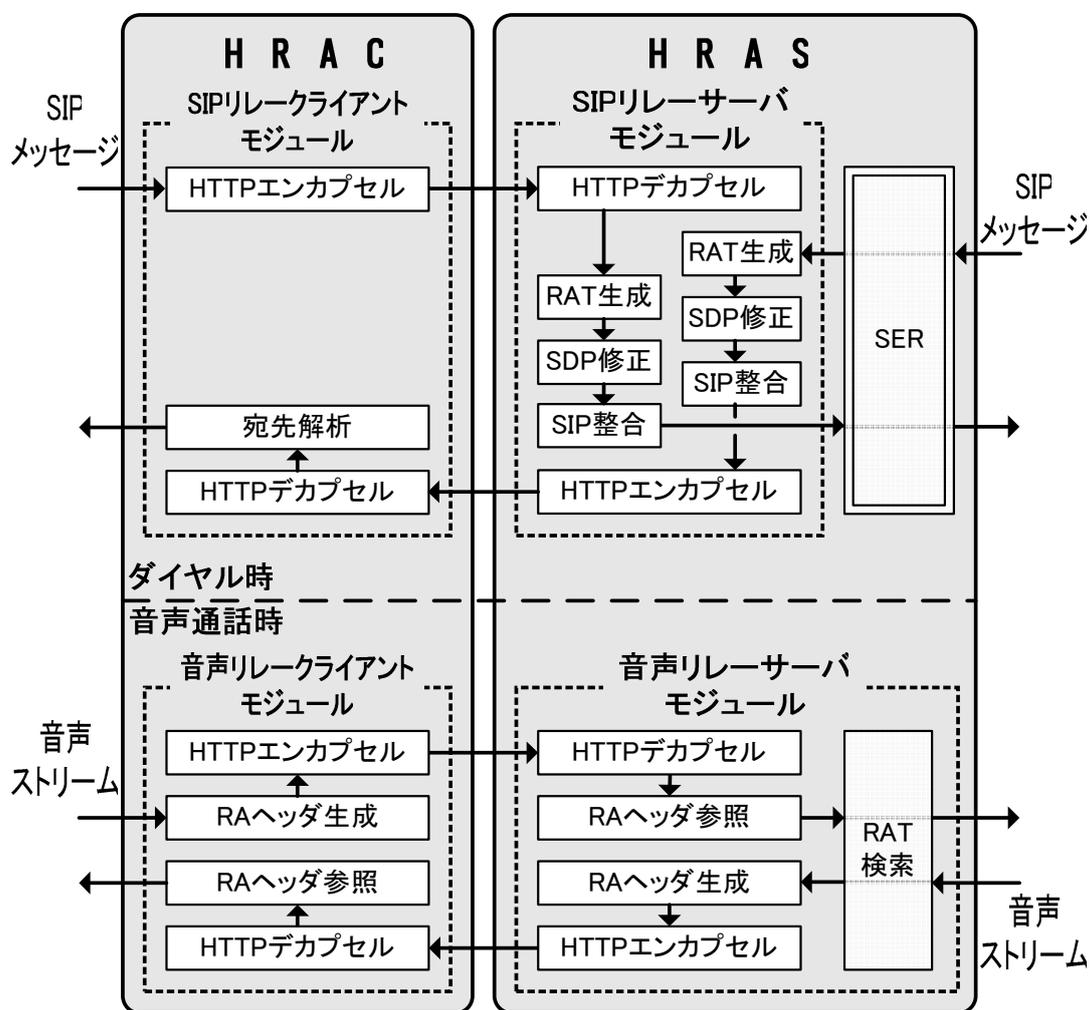
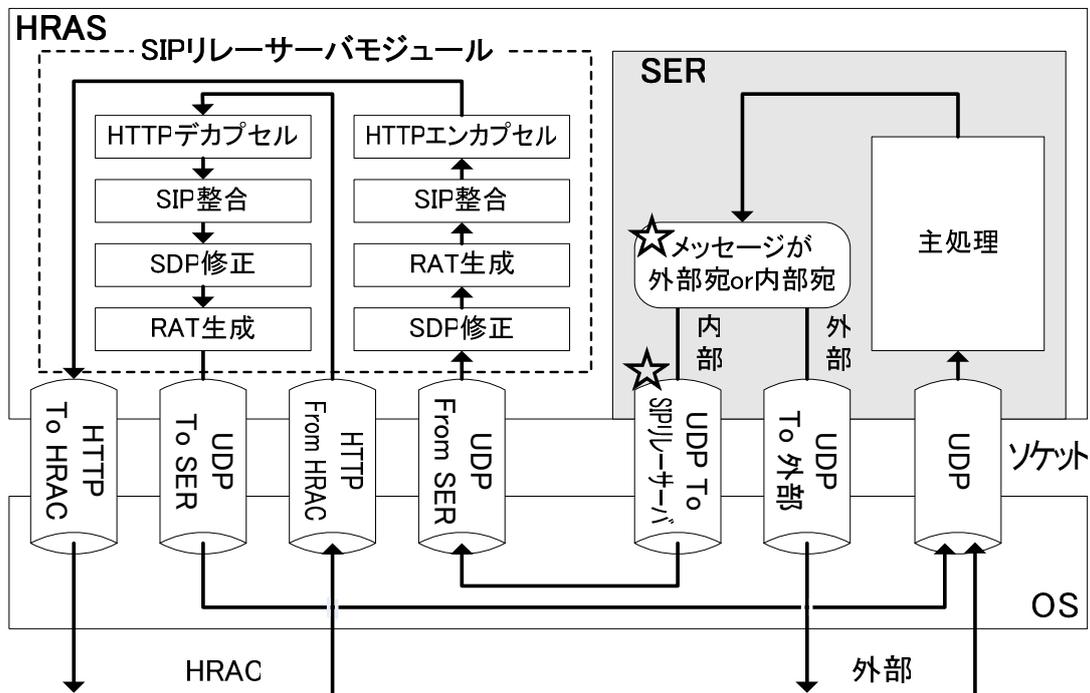


図 10. HRAS/HRAC の処理とデータの流れ

表 2. HRAC/HRAS の機能

	実現方式	処理
HRAS	HTTP トンネル	HTTP エンカプセル HTTP デカプセル
	音声ストリーム誘導	SDP 修正
	音声ストリーム経路決定	RAT 生成 RAT 検索 RA ヘッダ参照 RA ヘッダ生成
	SIP メッセージの整合化	SIP 整合
	SIP サーバとの連携	SER
HRAC	HTTP トンネル	HTTP エンカプセル HTTP デカプセル
	SIP メッセージの経路決定	宛先解析
	音声ストリーム経路決定	RA ヘッダ参照 RA ヘッダ生成



☆:コード追加による修正部分

図 11. SER と SIP リレーサーバモジュールの連携

第5章. スループット測定の結果と考察

SoFW を実装し、パケット処理時間を測定する実験を行った。実験構成を図 12 に示す。SoFW を利用する環境では必ず FW・NAT・Proxy を通過させるため、本稿では HRAS・HRAC・FW・NAT・Proxy を IP 電話の通信路に加えたときの端末間のディレイを測定する。実験の結果は各装置のパケット処理時間を足したものとなる。10BASE-T 対応のリピータ HUB に外部用と内部用の端末 2 台と HRAS・HRAC・FW・NAT・Proxy を接続する。この実験では TCP 通信の再送制御が端末間の遅延に及ぼす影響を除いた計測を目的とするため、他にネットワークに負荷を掛けるような装置やアプリケーションは接続していない。表 3 に各装置の性能を示す。外部用端末・HRAS, FW/NAT/Proxy の一方のインタフェースにはグローバルアドレスを設定し、FW/NAT/Proxy のもう一方のインタフェース・内部用端末・HRAC にはプライベートアドレスを設定する。FW には内側から外側への HTTP 以外の通信を遮断するルールと TCP レベルのステートフル・インスペクションを設定している。端末間の通信は一対一で行う。SIP 端末は X-Lite というソフトウェアで、音声コーデックは G.711 を使用している。測定は外部の端末からのダイヤルで音声通信を開始した後、Ethereal によって外部用端末に出入りするパケット、内部端末に出入りするパケットをキャプチャし OUTBOUND と INBOUND の音声ストリームの遅延を計算する。送信直後と受信直前のパケットの RTP プロトコルのシーケンス番号から同一の音声データを判別し、差を取り平均を出す計算を独自のプログラムで実行した。サンプルにしたパケットは 10000 パケットである。

平均遅延を表 4 に示し、縦軸を遅延時間、横軸をサンプル番号として遅延の揺らぎをグラフに表したものを図 13, 14 に示す。IP 電話ではネットワークを介した端末間の音声遅延が 100msec 以内なら固定電話並クラスとされ、400msec 以内であれば音声通信を行うサービスとして認められる[20]。OUTBOUND・INBOUND 共に 2msec 前後の平均遅延という結果は 100msec と比べると約 2%, 400msec なら約 0.5% であるため十分に通話に影響を与えない範囲であると言える。また遅延の揺らぎも OUTBOUND で 1.8~5.7msec, INBOUND では 1.4~3.5msec であり、どちらもグラフから特別に高い値は見られない。これも 100msec に対して約 1.5~6%, 400msec なら約 0.4~1.5% であり、常に性能を音声通信に影響しない範囲内に保っていることが言える。

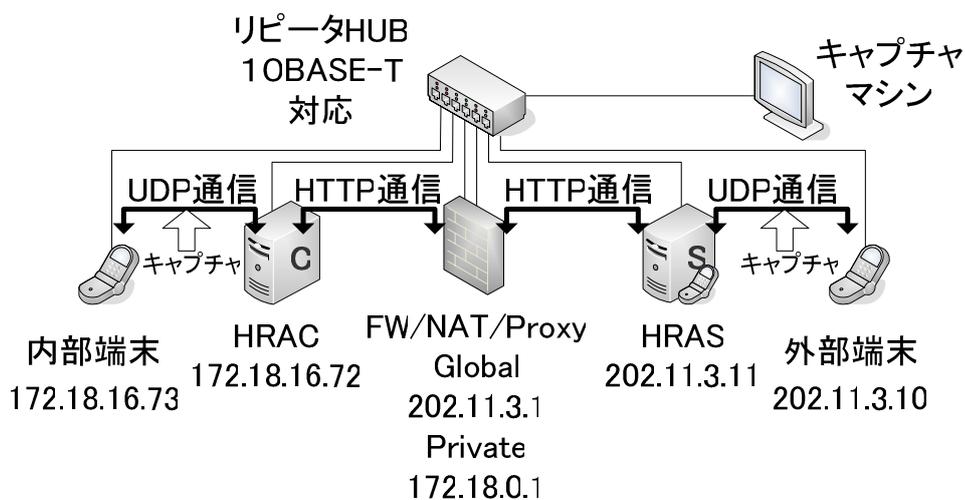


図 12. 実験構成

表 3. 評価システムのスペック

装置	仕様	
HRAS/HRAC	CPU	Intel PentiumIV 2.8GHz
	メモリ	512MB
	NIC	Broadcom Tigon3 10/100/1000BASE-T
FW/NAT/Proxy	CPU	Intel PentiumIII 600MHz
	メモリ	256MB
	NIC	Global Silicon Integrated System crop 10/100BASE-TX
	Private	ADMtek FNW-9803-T 10/100BASE-T
外部用端末	CPU	Intel PentiumIV 3.4GHz
	メモリ	1GB
	NIC	Broadcom NetXtreme57xx 100BASE
内部用端末	CPU	Intel PentiumM 1.80GHz
	メモリ	512MB
	NIC	Realtek RTL8139/810x 100BASE

表. 実験結果

ストリームの方向	平均遅延
OUTBOUND	1.641msec
INBOUND	2.087msec

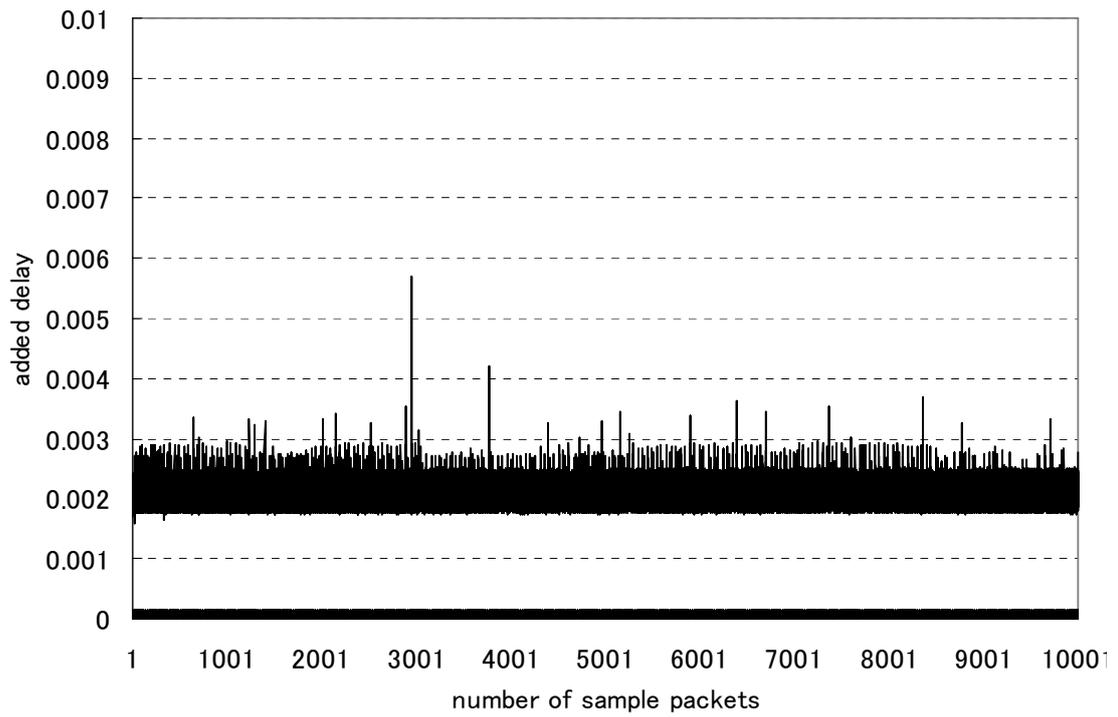


図 13. OUTBOUND

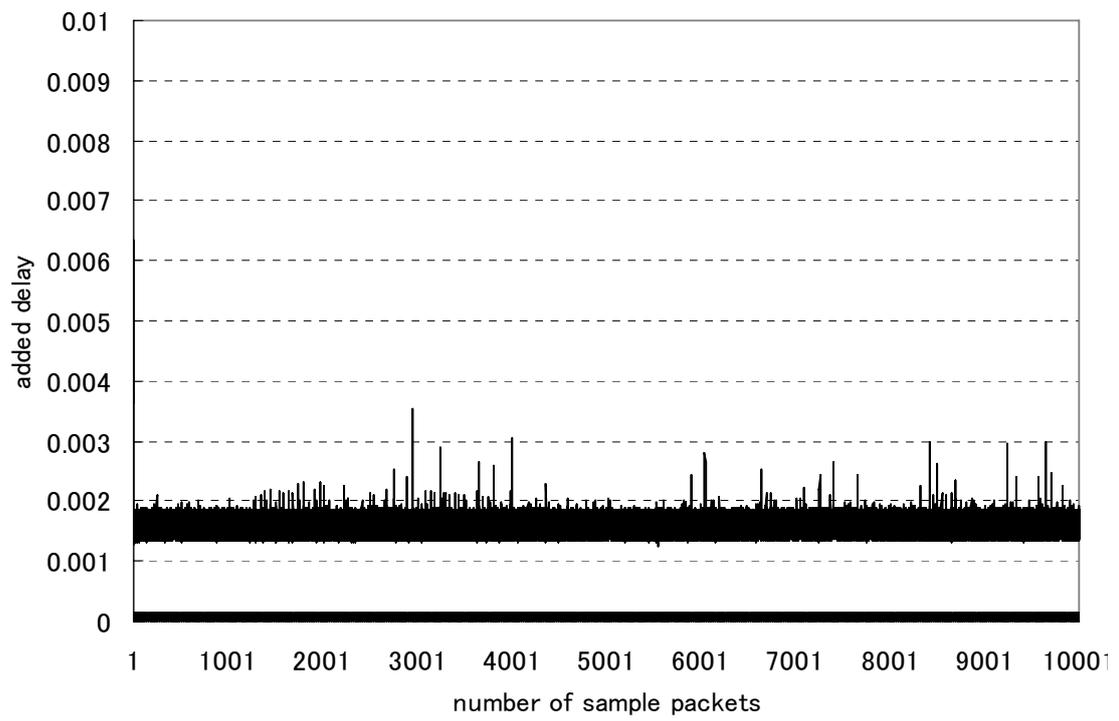


図 14. INBOUND 遅延の揺らぎ

第6章. おわりに

本稿ではグローバルアドレス環境上とプライベートアドレス環境上に 2 台のリレーエージェントを設置し, その間に HTTP トンネルを作ることによって FW を越えられる IP 電話システム: SoFW の実現方法を説明した. SoFW は従来の方式に対して, HRAC/HRAS がグローバルアドレスとプライベートアドレスの 2 つのインタフェースを持つ仮想的な 1 つの SIP サーバの役割を果たすことにより, 既存の SIP 端末がそのまま利用できることや, アドレス空間の統一的管理の必要がないという利点が挙げられる.

また, 今回の実験では SoFW を構成する装置が一つのパケットを処理する合計時間を計測し, SoFW を構成する装置の処理時間が音声通信に影響を与えないことを照明した. ただし, TCP はネットワーク上でパケットロスが発生すると再送制御を行うため, 負荷の掛かったネットワークでは速度の低下が予測される. 今後はネットワークに負荷を与えて, TCP の再送制御が端末間の遅延に与える影響を計測する必要がある. また, 今回は 1 対 1 の音声通信に対する SoFW の性能を計測したが, SoFW が何対の音声通信まで耐えられるかの実験も行う必要がある.

本稿では SIP で扱うデータを音声データに限定して研究したが, SIP はさまざまな用途に対して, その将来性が注目されており, SoFW の IP 電話以外への対応も検討していく.

謝辞

本研究に関して、研究の方向や進め方など終始御熱心なご指導と御教示を賜りました、名城大学工学部情報工学科 渡邊晃教授に心より厚く御礼申し上げます。

本研究を進めるにあたり、研究内容に関して終始御熱心なご指導と御教示を賜りました、名城大学工学部情報工学科 小川明教授に心より厚く御礼申し上げます。

本研究を進めるにあたり、研究内容に関して終始御熱心なご指導と御教示を賜りました、名城大学工学部情報工学科 高橋友一教授に心より厚く御礼申し上げます。

本研究を進めるにあたり、研究内容に関して終始御熱心なご指導と御教示を賜りました、名城大学工学部情報工学科 宇佐美庄五講師に心より厚く御礼申し上げます。

最後に、本研究を行うにあたり、適切な御検討を頂いた、名城大学工学部情報工学科渡邊研究室の皆様心より感謝いたします。

参考文献

- [1] N.Freed: Behavior of and Requirements for Internet Firewalls, IETF RFC 2979 (2000.10).
- [2] K. Egevang, P. Francis: The IP Network Address Translator (NAT), IETF RFC 1631(1994.5).
- [3] 星 徹: VoIP の最新動向,情報処理学会誌, Vol.42 No.02 - 008
- [4] 大田 昌孝: Colum 本当のインターネットをめざして, Vol.6, インターネットと電話 (2), 情報処理学会誌, Vol.40, No9, pp922-923
- [5] H.323, Packet Based Multimedia Communications Systems, ITU-T Recommendation, 1998.
- [6] J. Rosenberg, et all”SIP: Session Initiation Protocol”IETF RFC3261(2002.6)
- [7] Petri Koskelainen, Henning Schulzrinne, Xiaotao Wu: VoIP: A SIP-based conference control framework, ACM press 53-61(2002.5).
- [8] Stefan Berger, Henning Schulzrinne, Stylianos Sidiroglou, Xiaotao Wu: Conferencing: Ubiquitous computing using SIP, ACM press 82-89(2003.6)
- [9] Jon Peterson, “Application-layer Policy Enforcement at SIP Firewalls”, 2000-07-17
- [10] Chris Martin, “SIP Through NAT Enabled Firewall Call Flows”, 2001-07-17
- [11] Miquel Martin, “SIP NSIS Interactions for NAT/Firewall Traversal”, 2004-07-22
- [12] Jonathan Rosenberg, Henning Schulzrinne, Dale Drew, “Getting SIP through Firewalls and NATs” 2000-02-23,
- [13] Frederik Thernelius, “SIP Firewall Solution”, 2000-07-14
- [14] 大竹八洲考, 但馬康宏, 寺田松昭, “SIP を用いた NAT 通過手法の提案とその実装”, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.3
- [15] 宮内信二, “多様な環境で利用できるインターネットプロトコル”, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.3
- [16] Skype: ” <http://www.skype.com/home.html>”, Kazaa
- [17] 登大遊 “SoftEther による Ethernet の仮想トンネリング通信”
- [18] Handley, M. and Jacobson, V.: SDP: Session Description Protocol, IETF RFC2327(1998)
- [19] SER: “<http://www.iptel.org/ser/>”
- [20] 平成 14 年 2 月 総務省 IP ネットワーク技術に関する研究会 報告書

発表業績

1. 学術論文

なし

2. 国際会議

- 1) Masashi Ito, Watanabe Akira, “A realization method of Voice over IP system passing through Firewall and its Implementation”,ICOIN2006, Jan.2006

3. 口頭発表

- 1) 伊藤将志, 渡邊晃, “ファイアウォールを通過できる IP 電話の提案”, 平成 15 年電気関係学会東海支部連合大会, Oct.2003
- 2) 伊藤将志, 渡邊晃, “ファイアウォールを通過できる IP 電話の提案”, 平成 16 年度第 66 回情報処理学会全国大会 Mar.2004
- 3) 伊藤将志, 渡邊晃, “ファイアウォールを通過できる IP 電話の研究”, 第 120 回 DPS 研究会 Vol.2004, No.107, pp43-48 Nov.2004
- 4) 伊藤将志, 渡邊晃, “ファイアウォールを通過できる IP 電話の提案と実装”, 第 122 回 DPS 研究会 Vol.2005, No.33, pp105-110, Mar.2005
- 5) 伊藤将志, 渡邊晃, “ファイアウォールを通過できる IP 電話の実現方式と実装”, 情報処理学会 DICO2005 シンポジウム論文集 Vol.2005, No.6, pp.677-680, Jul.2005
- 6) 陳華龍, 伊藤将志, 渡邊晃, “多者間通話方式の検討”, 平成 16 年電気関係学会東海支部連合大会, Sep. 2005.