

Implementação de Gateway de Sinalização entre Protocolos de Telefonia IP SIP/H.323

Bruno F. M. Ribeiro
bruno@land.ufrj.br

Paulo H de Aguiar
Rodrigues
aguiar@ufrj.br

Cesar A. C. Marcondes
cesar@posgrad.nce.ufrj.br

Núcleo de Computação Eletrônica - UFRJ
Caixa Postal 2324, CEP 20001-970
Rio de Janeiro – RJ – Brasil

Resumo

A Internet se tornou o meio de comunicação universal, trazendo inúmeros benefícios para os usuários e tornando a comunicação sobre IP a forma predominante para a transmissão de dados e informação multimídia (Web). Espera-se que, em futuro próximo, a rede de telefonia convencional realize uma completa convergência com a Internet, resultando numa rede única para a transmissão de dados e voz. A telefonia IP vem crescendo muito com este apelo, e existem diversas padronizações disponíveis para este novo mercado, como o protocolo SIP da IETF e a recomendação H.323 do ITU-T. Necessitamos criar uma “cola” entre estes protocolos, para que eles se interoperem e tenhamos o total aproveitamento de recursos e aplicações já desenvolvidos em ambas as padronizações. Apresentamos a implementação de um gateway de sinalização SIP/H.323, viabilizando a interoperação transparente destes dois ambientes. A implementação usa o artifício da convergência para um canal de sinalização simples entre os dois ambientes, permitindo o reaproveitamento parcial de códigos de distribuição pública, o Opengatekeeper do OpenH323 e o cliente SIP Iptele, desenvolvido na Universidade Tecnológica de Helsinki. A arquitetura modular permite que futuramente novos gateways sejam implementados, aproveitando os módulos já desenvolvidos.

Palavras-chave: Especificação, verificação, implementação e teste de sistemas distribuídos e protocolos; Telefonia IP; Gateway de Sinalização; SIP; H.323

Abstract

The Internet has truly become the ubiquitous communication infrastructure, bringing many benefits to the users and making the communication over IP the predominant protocol architecture for data and multimedia transmission (Web). The regular telephone service shall, in a near future, converge to the Internet, giving place to a single integrated voice and data network. IP telephony is growing, following this expected trend, and different protocol standards, as SIP and H.323, are available for this new service. In order to guarantee interoperability and give users the freedom of choosing from equipment and applications based on these protocols, a SIP/H.323 gateway has to exist. We present the implementation of a SIP/H.323 gateway, which allows a transparent interoperation to the users. The implementation unites the two protocol stacks over a simple signaling message channel, allowing partial utilization of existing open source code, the OpenH323 Opengatekeeper and the SIP client Iptele, developed at the Helsinki University of Technology (HUT). The modular approach allows using the developed modules for implementing other gateways.

Keywords: Specification, verification, implementation and testing of distributed systems and protocols; IP Telephony; Signaling Gateway; SIP; H.323.

1. INTRODUÇÃO

A telefonia tem sofrido muitas mudanças nos últimos anos. Uma das mudanças mais importantes é a troca do paradigma de redes baseadas em circuitos, presentes em toda a malha telefônica pública comutada (PSTN ou *Public Switched Telephony Network*), para redes baseadas em pacotes. O transporte da voz sobre pacotes já é realidade na arquitetura interna de algumas operadoras e outras empresas planejam sua evolução futura para este paradigma

Bolsa PDE 200.123/79-3 do CNPq.

Bolsa de Mestrado do Programa de Pós-graduação do IM/NCE.

[21,22]. Por outro lado, a existência de uma infra-estrutura de rede e seu acesso a Internet é hoje uma premissa básica para qualquer empresa. Mesmo residências já partem para a implantação de redes locais, com ou sem fio, para suporte aos vários usuários e equipamentos [1]. Com a Internet globalizada, o uso da telefonia sobre IP passa a ter um interesse especial, ainda que certos fatores como qualidade, segurança, disponibilidade e confiabilidade tenham que ser aprimorados para se atingir o patamar de serviço característico da PSTN [15].

Na PSTN existe um velho problema: a necessidade de se saber previamente em qual telefone está a pessoa com a qual se deseja falar. Ligar para vários lugares muitas vezes é a única forma de se localizar alguém. Na telefonia IP, certas facilidades criam o conceito de mobilidade pessoal, que é a habilidade dos assinantes de iniciar ou receber ligações de qualquer lugar. Esta mobilidade está baseada numa identificação ou "alias" pessoal do usuário. [3]. A sinalização de telefonia IP se encarrega de descobrir onde está o usuário, independentemente do hardware físico que o acolhe. Além disso, a telefonia IP permite um uso mais eficiente da banda, advindo da multiplexação estatística intrínseca à rede de pacotes e do uso de compactação e supressão de silêncio na comunicação, reduzindo de 64 kbps (PCM típico) para apenas alguns kbps a banda ocupada por uma chamada de voz. A convergência dos serviços de voz e dados favorece enormemente a redução de custos, pela unificação de serviços técnicos (manutenção, gerência e planejamento) e pelo uso compartilhado de recursos. Existe ainda a possibilidade de integração com outros aplicativos, como a implantação de sistemas unificados de mensagem, usando a rede Internet para criar serviços compostos com telefonia IP, como o proposto em [16].

Seguindo esta tendência, diversos órgãos internacionais estabeleceram padrões para suporte a telefonia em rede de pacotes. O primeiro padrão foi o H.323 [2] do ITU-T (International Telecommunications Union-Telecommunications Section). O H.323 é um framework de recomendações sobre como implementar comunicação multimídia em redes de pacotes sem qualidade de serviço. Existem muitas implementações H.323 no mercado, como o *Netmeeting* da *Microsoft*, *IP Phone* da *Intel*, soluções desenvolvidas pela *PictureTel*, entre outros [19].

Para suporte a telefonia na Internet, a IETF (Internet Engineering Task Force) propôs um mecanismo mais simples para sinalização telefônica na rede IP, criando um protocolo chamado SIP (Session Initiation Protocol) [3], com raízes no amplamente utilizado protocolo HTTP. Em pouco tempo, o SIP mostrou-se tão abrangente para a telefonia e com tanto poder de integração com as tecnologias voltadas para a própria Web, que muitas empresas passaram a desenvolver implementações a partir dele [17]. Ele se tornou um grande concorrente na arena de telefonia IP.

O SIP e o H.323 vem disputando o cenário de telefonia IP há algum tempo, com vários artigos abordando suas diferenças [8,9]. Após algumas atualizações no H.323 [2], percebe-se uma clara tendência em prover funcionalidades semelhantes em ambos os protocolos. Assim, a versão mais recente do H.323 propõe mecanismos como o Faststart sobre UDP, que é o envio da descrição de mídia numa só mensagem logo no começo da sessão, similar ao método INVITE do SIP (ver seção 2.1), enquanto que no H.323 v1 temos a sinalização básica trabalhando com TCP, e as descrições de mídia em canais separados H.245 (ver seção 2.2).

Outro protocolo que também entrou neste cenário a pouco tempo é o MGCP (*Media Gateway Control Protocol*), uma parceria IETF/ITU-T. O H.248 é o padrão ITU-T correspondente ao MGCP IETF. O MGCP trata especificamente de controlar, centralizadamente, sessões entre equipamentos chamados Media Gateways, que são os soft-PBXs das redes IP [10].

Muitas empresas estão adotando soluções de telefonia IP, ou comprando equipamentos e softwares baseados nas padronizações acima. Entretanto, a existência de um sistema integrado

de comunicação onde o usuário possa optar pela sua solução de telefonia depende de um tradutor entre protocolos, o que chamamos de Signaling Gateway, ou Gateway de Sinalização, que funcione como uma “cola” entre as diferentes arquiteturas. Embora a Universidade de Columbia, EUA, já possuísse um gateway implementado [13], a inexistência de um gateway H.323/SIP com código de domínio público motivou este trabalho.

Na seção 2, apresentamos os protocolos SIP e H.323, abordando os problemas de tradução, como localização do usuário, registro na rede, entre outros, chegando a uma proposta de arquitetura funcional para o gateway. Na seção 3, enfocamos as questões de projeto do gateway, e descrevemos com detalhes sua arquitetura interna. Na seção 4, mostramos o fluxo de comunicação na nossa implementação e como foram realizados os testes de interoperabilidade. Por fim, as conclusões e futuros trabalhos são apresentados na seção 5.

2. ARQUITETURA FUNCIONAL DO GATEWAY

Apresentamos inicialmente uma visão geral do comportamento do SIP e do H.323. A seguir, descrevemos a arquitetura funcional do gateway.

2.1 Ambiente SIP

O SIP (Session Initiation Protocol) [3] é um protocolo a nível de aplicação da IETF, que estabelece, modifica e termina sessões multimídia e/ou ligações. Estas sessões podem ser conferências multimídia, aulas pela Internet, telefonia sobre Internet, entre outras. Na Figura 1 apresentamos um ambiente SIP genérico, com os três componentes principais: SIP User Agent, SIP Proxy Server e SIP Redirect Server. O conjunto destes componentes operando numa rede IP é definido como “rede” SIP. Estes componentes são descritos na tabela abaixo:

Componente SIP	Função
SIP User Agent	Cliente da arquitetura, ou o ponto final da comunicação multimídia.
SIP Proxy Server	Servidor de redirecionamento de requisições e respostas SIP. Passa a realizar a sinalização como se fosse o originador da chamada, e quando a resposta lhes é enviada, ela é redirecionada para o originador real.
SIP Redirect Server	Redireciona requisições e respostas, enviando uma mensagem para os clientes com o novo endereço SIP procurado, e não fazendo o papel de continuar a chamada.
SIP Registrar Server	Servidor SIP que suporta requisições REGISTER, usadas para registrar as informações dos usuários em algum Servidor de Localização.
Servidor de Localização	Na RFC do SIP [3], apenas as funcionalidades de armazenamento e consulta de registros de usuários SIP neste servidor são descritas, ficando a critério do implementador da solução SIP a escolha da melhor tecnologia para esta finalidade.

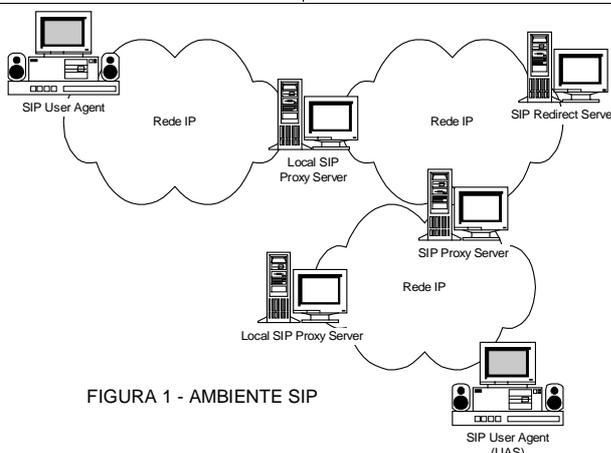


FIGURA 1 - AMBIENTE SIP

A “rede” SIP pode ser acessada via Internet usando uma URI (Uniform Resource Identifier). A URI é uma *string* compacta para endereçar os recursos físicos ou abstratos dentro da rede. Exemplos de endereçamentos SIP são *alias* (ou apelido) como esta URI <sip://usuário@servidor> ou pode ser um # de telefone, como <tel://5556666@gw.ufrj.br>. A parte do host na identificação URI pode ser um domínio internet alfanumérico válido ou um endereço IP numérico.

O protocolo SIP é baseado no HTTP e, assim como este, suporta o transporte de qualquer tipo de carga em seus pacotes, pelo uso de Mime-Types (Multipurpose Internet Mail Extensions). O SIP funciona numa arquitetura cliente/servidor, e suas operações envolvem apenas métodos de requisição e respostas, como observado também no HTTP e no RTSP. Os métodos de requisição do SIP são os seguintes: INVITE, ACK, OPTIONS, BYE, CANCEL, e REGISTER. O comportamento destes métodos é descrito na tabela abaixo.

Nome do Método	Comportamento
INVITE	Indica que o usuário está sendo convidado a participar de uma sessão multimídia. O corpo da mensagem pode conter uma descrição da sessão, utilizando-se o protocolo de descrição de sessão SDP (Session Description Protocol)[4].
ACK	Mensagem recebida como resposta final a um INVITE. A requisição ACK pode conter o SDP de descrição da sessão negociada entre ambos os clientes. Se não contiver o SDP, o usuário chamado pode assumir a descrição dada pelo primeiro INVITE, se houver.
OPTIONS	Faz uma pergunta sobre quais métodos e extensões são suportados pelo servidor e pelo usuário descrito no campo de cabeçalho <To:> . O servidor pode responder a esta pergunta com o conjunto de métodos e extensões suportado pelo usuário e por ele mesmo.
BYE	Usado para liberar os recursos associados a uma ligação e forçar a desconexão da mesma.
CANCEL	Cancela uma requisição que ainda esteja pendente, ou seja, em andamento. Uma requisição é considerada pendente, se e somente se, ela não foi atendida com uma resposta final.
REGISTER	Um cliente usa este método para registrar o "alias" (apelido) do seu endereço em algum servidor SIP, que, por aceitar registro de usuários, chamamos de serviço REGISTRAR.

Para localização, são usadas bases de dados locais ou servidores LDAP (Lightweighth Directory Access Protocol) [18], onde é possível montar diretórios de usuários e seus perfis.

Para cada requisição ou resposta, temos um grupo de cabeçalhos, divididos em: cabeçalhos gerais, com informações importantes sobre a chamada; cabeçalhos de entidade, com meta-informação sobre o corpo da mensagem; e os cabeçalhos específicos, que permitem passar informações adicionais, que não couberam na linha de status da requisição ou da resposta.

Quando requisições são atendidas, as respostas enviadas são identificadas por números, que significam a classe da resposta. Pode-se enviar diversas mensagens provisórias antes de se enviar uma resposta definitiva. Existem seis classes possíveis de resposta: Classe 1XX, respostas temporárias ou informativas; Classe 2XX, resposta final de sucesso; Classe 3XX, redirecionamento da requisição; Classe 4XX, erros no cliente; Classe 5XX, erros do servidor; e Classe 6XX, erros globais na rede.

Na Figura 2, temos o exemplo de um fluxo de convite para um usuário na “rede” SIP, mostrando características de mobilidade do usuário, mensagens de requisição, e mensagens de resposta finais. Acompanhe na Figura 2 as descrições numeradas a seguir:

- (1) Usuário bruno pede para ser criada uma sessão entre ele e o usuário de "alias" cesar@land.ufrj.br. [Requisição SIP INVITE]
- (2) O servidor proxy então pergunta ao servidor de localização de usuários (Location Server Database) onde está o usuário com esse "alias" [usando o Protocolo LDAP].
- (3) A resposta deste servidor é a atual localização do usuário (esta é a característica de mobilidade na rede SIP. Seu último REGISTER partiu de ipanema.land.ufrj.br).
- (4) A requisição de abertura de sessão é então redirecionada pelo proxy para o endereço correto [Requisicao SIP INVITE]. Então, o usuário cesar na máquina ipanema.land.ufrj.br será alertado, recebendo o toque de chamada [RING-RING].

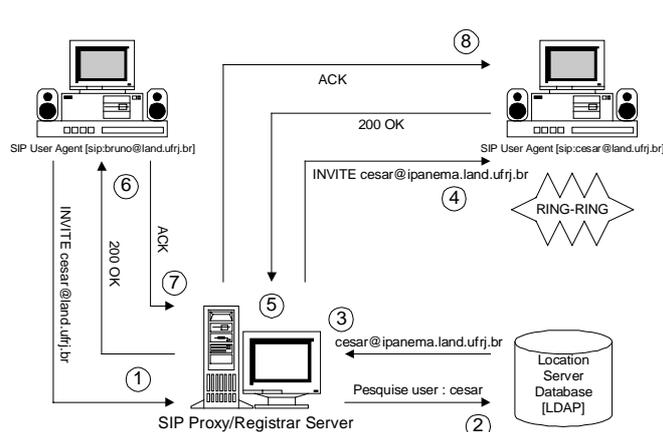


FIGURA 2 - ESTABELECIMENTO DE CHAMADA EM SIP

- (5) Cesar decide se juntar à sessão e o seu cliente SIP responde para o servidor proxy que a sessão pode ser aberta [Resposta de Sucesso 200 OK para o Servidor Proxy].
- (6) O servidor proxy redireciona essa resposta ao cliente chamador [Resposta de Sucesso 200 OK redirecionada para bruno].
- (7) O cliente chamador bruno indica para o servidor que a negociação da sessão acabou e a sessão está aberta [Requisição ACK contendo a negociação final de mídia].

- (8) Enfim, o servidor proxy indica para o cliente chamado que a negociação da sessão acabou e a sessão está aberta [Requisição ACK contendo a negociação final de mídia].

2.2 Ambiente H.323

A recomendação H.323 conceitualmente descreve terminais, equipamentos e serviços para comunicação multimídia sobre redes locais sem garantia de qualidade de serviço (QoS). Terminais e equipamentos H.323 podem transportar voz em tempo real, dados e vídeo ou qualquer combinação destes, como a videotelefonia.

A LAN sobre a qual os terminais H.323 se comunicam pode ser um só segmento de rede, ou podem ser múltiplos segmentos, com topologias mais complexas. Entretanto, deve-se lembrar que a operação do H.323 sobre múltiplos segmentos de rede local, incluindo-se seu uso com a Internet, pode resultar em perda de escalabilidade [9].

No H.323, o usuário se registra em um elemento de rede chamado Gatekeeper (GK). O GK é um servidor cujas principais funções são o controle de admissão de ligações, decrementando de um valor presumido de banda disponível a cada admissão, e a procura por usuários H.323 registrados. O H.323 é baseado na noção de domínios administrativos. Domínio administrativo é o conjunto de GKs que são considerados vizinhos, ou seja, aqueles servidores que estão dentro da mesma região administrativa, mas têm registros de clientes diferentes.

Terminais H.323 podem ser implementados em software em PCs ou integrados em dispositivos independentes como videofones, ou IPfones. Na recomendação, o suporte a voz é obrigatório, enquanto suporte a transporte de dados e vídeo são aspectos opcionais. O H.323 abstrai o transporte das mídias, tratando-o como um canal. Ele permite que mais de um canal seja usado para cada tipo de mídia. Existem outras recomendações que fazem parte da pilha de protocolos do padrão H.323. São elas: H.225.0 [7], para mensagens RAS (Requisição, Admissão e Status) e sincronização; H.245 [6], para controle de mídia; H.261 e H.263, para codificação e decodificação de vídeo; G.711, G.722, G.728, G.729, e G.723, para codificação e decodificação de áudio; e T.120, para protocolos de comunicação de dados.

O H.323 usa os procedimentos de abertura de canais lógicos descritos na recomendação H.245 [6], onde cada sessão de mídia corresponderá a um canal. Antes de abrir o canal, os terminais já trocaram mensagens sobre o conjunto de capacidades, orientados pelo H.245, e sabem quais as mídias que podem receber/enviar e quais os transportes suportados pelo outro terminal.

A parte de sinalização e estabelecimento de chamada do H.323 é baseada na norma de telefonia ISDN Q.931, usando as extensões definidas pela norma H.225 para o campo opcional User-to-User (SETUP UUIE). Assim, toda a negociação de controle de chamada

básica é feita pela Q.931/H.225, ficando apenas a negociação de mídia para o H.245. Na arquitetura descrita pela recomendação H.323 para a Telefonia IP, existem vários elementos fundamentais (Figura 3).

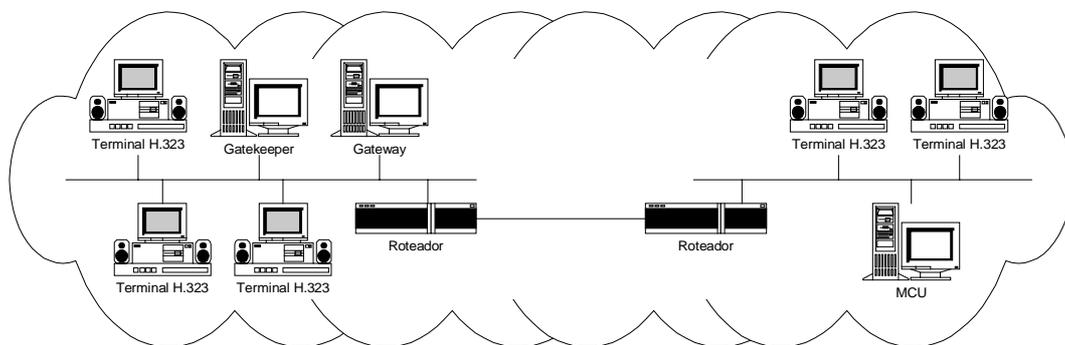


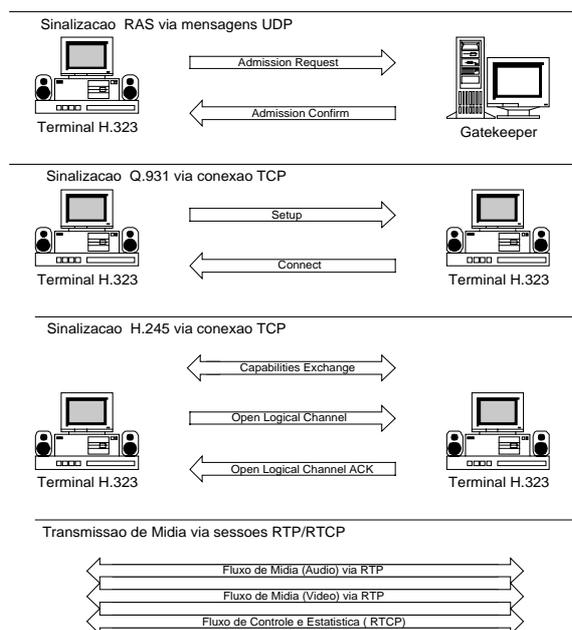
FIGURA 3 - ZONA ADMINISTRATIVA H.323 E DIVERSOS COMPONENTES

Na tabela a seguir, temos a descrição dos componentes da Figura 3.

Componente H.323	Função
Terminais H.323	São os clientes da arquitetura, ou ponto finais da comunicação.
Gatekeeper	São responsáveis por manter o registro dos clientes, capazes de achar um cliente registrado em outro GK, e podendo fazer uso de serviços de diretórios (LDAP).
MCU	Possui funções de controle para suporte a conferências entre três ou mais pontos terminais em uma conferência multiponto.
Gateway PSTN	Provê a tradução apropriada entre formatos de transmissão e procedimentos de comunicação, além de gerar e detectar sinais DTMF (Dual-Tone MultiFrequency), correspondendo à sinalização do H.245 (necessário para interação com a PSTN).
Border Element	Responsável pela interface entre duas regiões administrativas H.323.

A sinalização H.323 é extremamente complexa, devido principalmente a sua extensa pilha de protocolos, e a conformidade com padrões antigos da ITU-T. Na figura 4, temos uma idéia dessa complexidade. As mensagens ARQ (Admission Request, ou pedido de abertura de sessão), ARJ (Admission Reject, ou a rejeição do pedido) e ACF (Admission Confirm, ou a confirmação do pedido) são exclusivas dos terminais H.323. Estas mensagens, em conjunto com LRQ (Location Request), LCF (Location Confirm), LRJ (Location Reject), usadas pelos gatekeepers, formam o que denomina-se conjunto de mensagens RAS (Requisição, Admissão e Status). Um terminal registrado em um GK sempre pedirá autorização ao GK para iniciar e/ou aceitar chamadas de telefonia IP. As mensagens Q.931 são SETUP (estabelecimento de chamada ISDN), Call Proceeding (equivalente ao Ringing do SIP) e CONNECT (confirmação do estabelecimento de chamada).

FIGURA 4 - SINALIZACAO DA RECOMENDACAO H.323 V.1

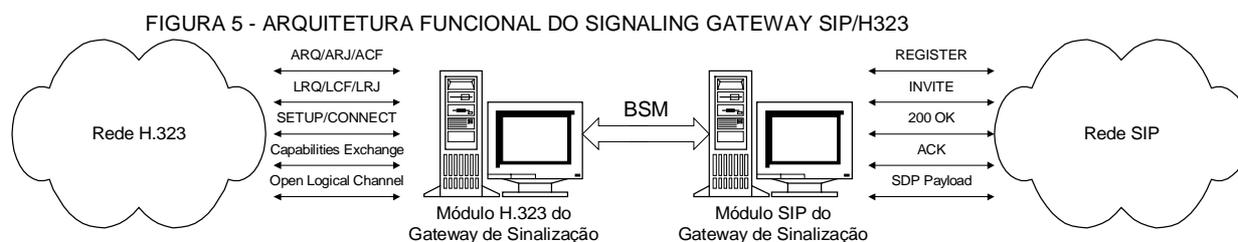


Na fase de inicialização de mídia pelo H.245, uma porta TCP é aberta para negociação dos subconjuntos de mídias suportados e a ordem de preferência das mídias. O canal H.245 é mantido

aberto caso alguém abra uma nova sessão de mídia, ou modifique uma existente. As mensagens mais básicas do H.245 são: Capability Exchange (troca de conjuntos de capacidades de mídia entre os terminais), Open Logical Channel (abertura de canal de controle do fluxo de mídia) e Open Logical Channel Acknowledge (confirmação do mesmo). O transporte do fluxo de mídia, após a fase de negociação, acontece no nível de rede pelo uso do protocolo de transporte RTP (Real time Transport Protocol) [5], sendo este também usado pelo SIP, para transporte de mídia.

2.3 Ambiente Funcional SIP/H.323

O processo de interoperação entre os protocolos SIP e H.323 está muito longe de ser uma simples questão de tradução, pois diversos problemas arquiteturais precisam ser resolvidos, devido a incompatibilidade no projeto destes protocolos. Dentre os problemas principais, temos a forma diferente de endereçamento usada pelos dois, onde manter os registros de usuário e o processo de negociação de mídia. Na literatura [13, 14], temos a descrição de uma proposta bastante geral de padronização para a construção de gateways de sinalização SIP/H323. O SGW (Signaling Gateway), visto na Figura 5, foi desenvolvido com o objetivo principal de fazer a interface entre as redes SIP e H.323.



O SGW tem uma arquitetura de software modular, envolvendo um módulo SIP-BSM e um módulo H.323-BSM. Módulo é um processo capaz de interpretar a sinalização de um determinado protocolo de telefonia em outro e tem implementado as funções BSM (Basic Signaling Messages), que realiza a intercomunicação entre os módulos. A BSM possui um conjunto simples de mensagens, mas suficientemente versátil para interconectar a qualquer protocolo de telefonia IP. A BSM é uma característica singular do SGW e será discutida com detalhes na seção 3.1.

Como o transporte da mídia é o mesmo nos dois protocolos (RTP/UDP/IP), a transferência de áudio e vídeo fica sempre transparente para o SGW. A tarefa de interoperação envolverá apenas sinalização e descrições de sessões, sendo possível que um único servidor SGW possa atender a grandes cargas de requisições e respostas, sem comprometer a “cola” SIP/H323. Abaixo, abordamos os procedimentos mais importantes a serem executados pelo gateway.

2.3.1 Interoperação entre os Procedimentos de Estabelecimento de Chamada

Para o estabelecimento de chamada nos dois protocolos, temos sempre que trocar, entre os terminais clientes, três informações: o endereço destino da sinalização, as capacidades de mídia sejam elas remotas ou locais, e os endereços e portas de transporte remotas ou locais de onde os terminais pretendem receber os pacotes de mídia. A dificuldade em traduzir este procedimento entre o SIP e H.323 ocorre porque, no SIP, todas estas informações estão contidas na mesma requisição SIP INVITE e respostas subsequentes, enquanto que, no H.323, estas informações estão espalhadas entre diversas mensagens de sinalização diferentes.

A solução deste problema é formada por duas partes. Na direção SIP para H.323, temos que dividir as informações que vieram numa única mensagem SIP INVITE, e passar estes

parâmetros nas sinalizações correspondentes de H.225/H.245. Na direção H.323 para SIP, o processo é mais complicado e exige que todas as mensagens H.225 e H.245 sejam reunidas pelo lado H.323 do SGW. Entretanto, o H.245 só é ativado quando a chamada já foi estabelecida pelos procedimentos do Q.931/H.225, de forma que as alternativas são: ou mandar um INVITE vazio (sem SDP e sem conter a descrição de mídia) para estabelecermos a conexão (requisito primário do H.245), ou usar uma mensagem OPTIONS para o lado da “rede SIP”, para descobrir as capacidades do cliente SIP. Em seguida, repassar para o lado H.323 e poder negociar com o H.245. Veja a seção 3 sobre implementação.

2.3.2 Tradução de Endereços

O SGW deve realizar a tradução de endereços para identificar o usuário, sendo que este deve criar endereços válidos SIP a partir de endereços H.323 e vice-versa. No caso do SIP, os endereços são formados como URIs (assim como os endereços HTTP). Por exemplo, sip:user@host. Os clientes SIP podem suportar esquemas de URL como “tel:xxx@” para números de telefone ou mesmo eventuais URLs H.323, se existirem¹.

No H.323, os endereços são codificados em ASN.1[2] (no SIP, tanto a codificação das mensagens quanto a URI é baseada em texto [3]) e podem ter várias formas, como identificadores não-estruturados (H.323-ID), E.164 para números telefônicos, URLs de diversos tipos, nome de host ou endereços IP, e endereços de email (email-ID). No entanto, os nomes de usuários locais e host parecem ser os mais comuns na formação do endereço H.323.

O mapeamento de um endereço SIP para H.323 é fácil, bastando copiar o SIP-URI para o H.323-ID. As partes para montagem do email-ID são tiradas do formato user@host do SIP-URI: o transport-ID da parte host do SIP-URI, e o campo E.164 extraído da parte user do endereço SIP, se ele estiver com um número de telefone ou esquema “tel:”. Se não estiver, a tradução é mais difícil devido às várias representações do H.323 e posterior união destas num único endereço SIP. Em [13], recomenda-se que primeiro se verifique se o H.323-ID é um endereço SIP válido. Se for, basta copiar esse endereço para a SIP-URI, senão, será preciso fazer uma composição do transport-ID para a parte host do SIP-URI, quando a parte host não apontar o próprio SGW. E o email-ID será usado para formatar o esquema SIP-URI.

2.3.3 Arquitetura de Registro de Usuários

Para simplificar o acesso ao serviço de localização do usuário, o SGW deve ter acesso direto aos servidores de registro de usuários, independentemente do protocolo de sinalização. Existem 3 abordagens diferentes para prover este mapeamento do registro de usuários na rede heterogênea SIP/H.323 [13]. A Figura 6, ilustra estas abordagens.

Na primeira abordagem onde o SGW tem um SIP Proxy /Registrar interno, toda vez que o SIP Registrar receber uma requisição SIP REGISTER de um usuário SIP, o SGW gera uma requisição de registro (RRQ) para o Gatekeeper H.323 (GK), mapeando os usuários SIP na rede H.323. Como as informações SIP passam a ser disponíveis através dos gatekeepers H.323, então qualquer entidade H.323 pode resolver o endereço das entidades SIP alcançáveis via SIP SGW. Na outra direção, SIP para H.323 se um usuário SIP quiser conversar com um terminal H.323, ele envia uma mensagem SIP INVITE para o servidor SGW, e este manda requisições de busca (LRQ) no lado H.323 para os gatekeepers. O GK que tiver registrado aquele usuário H.323 responderá com o endereço IP deste. A desvantagem principal nesta abordagem é que os gatekeepers H.323 tem que ter além de todos os registros normais da

¹ URL H.323 foi proposta por P. Cordell, “Conversational multimedia URLs”, Internet Draft, 1997, expirado.

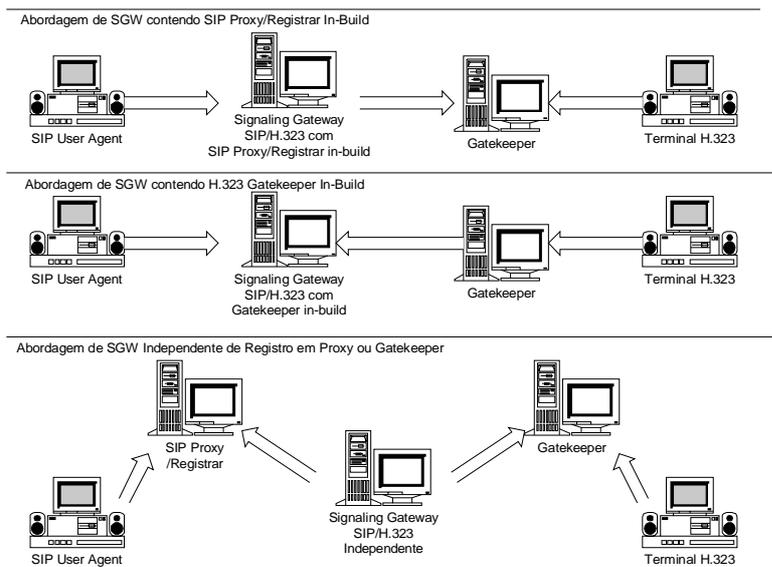


FIGURA 6 - ABORDAGENS DA ARQUITETURA DE REGISTRO DE USUÁRIOS

“rede” H.323, também terão todos os da “rede” SIP, comprometendo a escalabilidade. A comunicação H.323 para SIP, no entanto, será agilizada.

A segunda abordagem onde o SGW contém um gatekeeper interno, é uma estrutura similar a anterior, exceto que desta vez o SIP Proxy/Registrar é quem manterá, redundantemente, as informações de registro dos usuários das duas redes. Assim sendo, qualquer requisição de registro H.323 recebido pelo GK do SGW será redirecionada

para o SIP Registrar. A pesquisa de endereços H.323 por um cliente SIP é facilitada, pois os registros de terminais H.323 estão residindo no mesmo domínio SIP. Enquanto que quando um terminal H.323 quiser falar com um usuário SIP, o terminal deve solicitar permissão ao GK (enviando ARQ). O GK tentará procurar o registro em outros Gatekeepers via LRQ em multicast, por exemplo. Ao receber o LRQ, o SGW-GK tentará procurar o usuário na rede SIP usando o método OPTIONS para verificar a existência e o status do usuário SIP, para depois responder o IP deste para o lado H.323. A comunicação da rede SIP para a rede H.323 será agilizada. Problemas de escalabilidade continuam existindo.

A última abordagem resolve o problema de redundância no registro de endereços das alternativas anteriores, mas força um atraso maior na localização dos usuários. O SGW não tem dentro dele, nem gatekeeper H.323, nem SIP Proxy/Registrar. Os registros de usuário são feitos independentemente em cada rede, SIP ou H.323. Quando um usuário fizer uma busca de localização, o SGW simplesmente tentará fazer a pesquisa na outra rede. Na rede H.323, quando um usuário que foi registrado no seu GK tenta contactar um usuário SIP, o GK deste usuário não encontrará o endereço SIP em seus registros e mandará uma requisição LRQ para o SGW, que traduzirá esta busca com método OPTIONS do lado SIP, até encontrar o usuário. Caso a busca tenha começado pelo lado SIP, o proxy SIP/Registrar contactado não terá registro do usuário H.323, e o SGW passará a fazer um LRQ para todos os gatekeepers conhecidos por ele. Veremos adiante que esta foi nossa escolha de implementação.

3. IMPLEMENTAÇÃO DO SIGNALING GATEWAY SIP/H.323

Para a implementação do SGW, optamos pelo uso de software de licença pública e de código fonte aberto, com a finalidade de se obter um desenvolvimento mais rápido e sem restrições de distribuição. Usamos o OpenH323 [19] e o Iptele [11], para a pilha SIP.

Entretanto, o uso de código já existente pode ter inconvenientes. No caso do OpenH323, que é mantido por uma empresa australiana de nome Equivalence Pty, as bibliotecas da pilha de protocolos H.323 são bastante extensas, desenvolvidas em C++ e com pouquíssima documentação. Apesar disso, as implementações do OpenH323 se mostraram estáveis e confiáveis, em termos de aderência aos padrões. Para o desenvolvimento do SGW, decidimos pelo uso do OpenGatekeeper [19], a implementação de gatekeeper que usa as bibliotecas do

OpenH323. O objetivo foi usar a funcionalidade de servidor para prover múltiplas conexões simultâneas e efetuar a tradução dos protocolos de forma eficiente.

O acesso ao programa SIP User Agent IPTele foi obtido através de parceria IM/NCE/UFRJ e a Universidade Tecnológica de Helsinki (HUT), na Finlândia. O programa foi desenvolvido em Java, e possui as funcionalidades de SIP User Agent Client e User Agent Server, além de ter um segmentador (parser) simples para as mensagens do protocolo SIP. Este software apresentou limitações, que apontaremos a frente.

Partindo destas ferramentas, uma das primeiras decisões do projeto foi reaproveitar os dois códigos-fonte disponíveis para desenvolver o Signaling Gateway e poupar recursos na portagem de um dos programas para o outro ambiente de programação. Foi introduzido, uma comunicação entre os módulos independentes H.323 e SIP, e foi proposto um novo conjunto de funções chamado BSM, ou simplesmente Basic Signaling Messages, cujo objetivo é integrar, através de uma comunicação TCP, as duas pilhas de protocolos. A partir do conceito do BSM, o Signaling Gateway se constrói a partir de uma arquitetura modular, juntando-se os módulos BSM-SIP e BSM-H.323.

Esta forma de montar o programa modularizando os protocolos e comunicando-se através de mensagens simples com outros módulos, tem outros benefícios. Torna-se simples reutilizar esta mesma estrutura para implementar outros signaling gateways, como H.323-MGCP e SIP-MGCP, simplesmente com a construção de um módulo BSM-MGCP. Assim, com algumas pilhas de protocolo de domínio público e amplo uso das funções BSM, poderemos desenvolver um ambiente integrado de comunicação.

Resolvemos os problemas referentes à tradução H.323/SIP (apresentados na seção 2.3) da seguinte forma. Primeiramente, na tradução de endereços do SIP para H.323 foi usado o H.323-ID ao invés do email-ID ou url-ID do protocolo H.323. Isto se deve porque alguns gatekeepers, como o OpenGatekeeper fazem uma comparação byte a byte dos endereços, e o H.323-ID usa dois bytes por caracter (devido ao suporte multilingual), diferentemente do email-ID, e url-ID, que só usam um. Como todos os clientes testados (o OpenPhone do projeto OpenH323 e o Netmeeting da Microsoft) enviam os “alias” dos usuários como H.323-ID, foi decidido que este seria usado para a tradução de endereços SIP-H323, para mantermos compatibilidade com essas implementações.

Na questão sobre a arquitetura de registro de usuários, decidimos optar pela escolha que menos afetaria as configurações das redes SIP ou H.323, nas quais o SGW fosse instalado. Nossa decisão foi colocar o SGW independente em termos de resolução de usuários nas duas redes, e totalmente transparente para elas. Além disso, diferentemente da abordagem proposta por [14], onde o SGW deveria ter todas as implementações das mensagens do RAS, na nossa implementação usamos apenas as mensagens LRQ/LRJ/LCF para conduzir pesquisas entre gatekeepers dito vizinhos. Esta abordagem diminui a carga dos GKs e diminui o tempo de estabelecimento da conexão por se comunicar com vários GKs ao mesmo tempo na busca do usuário. Existe também economia no número de mensagens que são necessárias nas pesquisas de localização H.323. Esta decisão de implementação simplifica a construção do gateway e contribui para a performance.

Para o problema da troca de capacidades, quando existe uma ligação do lado H.323 para o SIP, [14] propõe o usar OPTIONS para buscar as capacidades de mídia no lado SIP e depois mandar uma mensagem de INVITE, ou enviar INVITE contendo as mídias do lado SIP, existindo a possibilidade de haver reINVITE. Na nossa implementação, adotamos uma filosofia diferente, emitindo um INVITE vazio (sem SDP, veja seção 2.3.1). Assim, a conexão é iniciada e o H.245 pode trocar as capacidades do lado H.323. O SDP contendo as

capacidades de mídia negociadas só será enviado na mensagem final SIP ACK. Temos duas vantagens nesta escolha de implementação. A primeira é que não precisamos fazer reINVITE, necessário para reinicializar uma sessão, quando a mídia inicialmente enviada está errada. A segunda é a redução do número de mensagens e do tempo de abertura da sessão.

3.1 BSM

A BSM foi uma opção de projeto para unir módulos de domínio público, sem ter que reescrever código. Ela também resolve problemas com a troca de mídias suportadas pelos clientes. O SIP e o H.323 enviam esta informação em estados diferentes da ligação: o SIP durante o estabelecimento da sessão, e o H.323 depois do estabelecimento da sessão. Assim que a BSM torna a informação de mídia disponível, o módulo toma as providências necessárias, como iniciar a negociação da mídia com o outro lado. Se a descrição de mídia está demorando a chegar, pode-se enviar uma mensagem pela BSM pedindo ao outro lado do GW para informar qual mídia será usada. Outra vantagem é que a implementação de um módulo usando BSM não leva em consideração como opera o protocolo do outro módulo.

Conforme visto anteriormente, devido ao uso do BSM, dividimos a implementação em duas partes, ou seja, dois módulos de software independentes, podendo ou não, rodar em máquinas diferentes. Isto é especialmente interessante, porque podemos fazer distribuição de carga de sinalização do SGW entre estas máquinas.

3.1.1 Mensagens da BSM

A BSM possui as seguintes mensagens básicas: SETUP (estabelecimento da ligação), CONNECT (atendimento da ligação), RINGING (usuário sendo alertado sobre a ligação), RELEASE (liberar a ligação), CAPABILITY ARRIVAL (chegaram parâmetros de mídia), e MESSAGE CAUSE (extensões opcionais).

SETUP possui como parâmetros a origem e o destino da ligação. CAPABILITY ARRIVAL possui como parâmetros os campos “c” (endereço e tipo de transporte), “m” (tipo de mídia e parâmetros da mesma) e um campo “a” (auxiliar), descrevendo o campo de cabeçalho “m” do SDP [2]. CONNECT informa sobre o atendimento da ligação, e o RELEASE da finalização da chamada. MESSAGE CAUSE cuida das extensões dos protocolos de voz sobre IP. Sempre que um protocolo possui alguma extensão, essa mensagem é enviada indicando qual a extensão pretendida. As demais mensagens não possuem parâmetros.

Toda conexão pela BSM possui um identificador único. Esse identificador é gerado por um número base (que será enviado ao outro módulo do SGW no início da conexão TCP da BSM) que chamaremos de *topID*. Ao identificador enviado pelo outro módulo chamaremos de *topRemoteID*. Então se $messageID > \max(topRemoteID, topID)$, a mensagem não se refere às conexões já abertas, mas sim a uma que está para ser aberta. Ao enviar uma mensagem referente à uma nova conexão, deve-se incrementar *topID* em 100 e enviá-la com $messageID = topID$. Isto é feito para manter o estado do protocolo em cada uma de suas threads.

3.1.2 Detalhamento das Ações das Mensagens BSM

Todos os campos das mensagens BSM citados abaixo são do tipo “String” com o caracter de “new line” como separador. O tipo da mensagem é identificado pelo primeiro byte, sendo usados os seguintes valores:

SETUP = 0, RELEASE = 1, RINGING = 2, CAUSE = 3, CAPABILITY = 4, CONNECT = 5

Setup	Descrição da Mensagem: <ID> <to (url)> <From (url)> (<campo1><campo2><campo3>	
<i>Quando enviar:</i>	<ul style="list-style-type: none"> Quando o SGW receber uma mensagem INVITE (SIP) ou Setup (h323 v1,2,3). Quando sair do estado de chamada em espera 	
O que fazer quando receber:	Para o lado H.323:	Enviar H.323 Setup. Lembrar que só podemos usar o fastConnect (enviar os tipos de mídia suportados junto com SETUP) se houver uma msg de capabilityArrival antes. Se houver uma msg de capability antes do Setup, armazena-se os dados e espera-se pelo Setup, a caminho.
	Para o lado SIP:	Enviar INVITE. Enviar o SDP depende da existência ou não de uma msg capabilityArrival precedente.
Release	Descrição da Mensagem: <ID> <HOLD bit [0 ou 1]> O HOLD BIT sinaliza chamada em espera	
<i>Quando enviar:</i>	<ul style="list-style-type: none"> Recebendo SIP BYE, ou qualquer mensagem entre 400 e 500, ou 600, 602 ou 603. Recebendo H.245 Endsession no H.323 (vs 1) ou Q.931 ReleaseComplete. 	
O que fazer quando receber :	Para o lado H.323 :	Enviar H.245 Endsession (vs 1) e se der timeout enviar uma msg Q.931 ReleaseComplete.
	Para o lado SIP :	Enviar uma msg de BYE.
Ringig	Descrição da Mensagem : <ID>	
<i>Quando enviar:</i>	<ul style="list-style-type: none"> Recebendo RINGIG (SIP) ou Alerting (do H.323 v1,2,3). 	
Cause	Descrição da Mensagem: <ID> <cause> Segue a mesma numeração das mensagens de resposta do SIP.	
<i>Quando enviar:</i>	<ul style="list-style-type: none"> Recebendo um indicador da causa da desconexão ou do reenvio de um setup. 	
O que fazer quando receber:	Para o lado H.323 :	Caso receba um Release em seguida, envie motivo.
	Para o lado SIP :	Caso receba um Release em seguida, envie motivo.
Capability Arrival	Descrição da Mensagem: <ID><"c=IN IP4 %s\nm=audio %s RTP/AVP %*d\na=rtpmap:%*d %s\n\n"> O primeiro parâmetro refere-se ao endereço IPv4 onde estará aberta a sessão RTP. O segundo refere-se ao nome do Codificador/Decodificador de mídia que deverá ser usado. O terceiro refere-se à porta na qual esses pacotes RTP estão sendo esperados.	
<i>Quando enviar:</i>	<ul style="list-style-type: none"> Recebendo as capacidades de mídia do cliente (no INVITE com SDP, ou no H.245). 	
O que fazer quando receber:	Para o lado H.323:	Enviar as capacidades pelo H.245 vs1, H.245 vs2 e 3 ainda a serem definidas.
	Para o lado SIP:	Inserir o SDP correspondente na próxima mensagem de INVITE, 200 ou ACK.
Connect	Descrição da Mensagem : <ID>	
<i>Quando enviar:</i>	<ul style="list-style-type: none"> Toda vez que receber uma msg OK (200 - SIP) ou Connect (H.323). 	

Foram implementadas as mesmas 3 classes orientadas a objetos nos dois módulos, fazendo uma herança simples para especializar o núcleo que trabalha com as mensagens BSM para cada módulo. As classes são:

- Translator: responsável por enviar as msgs BSM para a outra ponta do SGW.
- RemoteTranslator: troca mensagens entre as duas instâncias do Translator (cada uma no seu respectivo módulo).
- Msg: responsável por criar/interpretar as msgs enviadas/recebidas pela classe Remote/Translator.

Maiores detalhes da programação do SGW podem ser obtidos em [23].

3.2 Implementação do Módulo SIP-BSM

A implementação da parte SIP foi baseada em um SIP User Agent desenvolvido num trabalho de tese de mestrado [11] da Universidade de Helsinki. Entretanto, devido à característica do programa cliente atender somente a uma ligação por vez, fomos forçados a reescrever grande parte do código para a construção de um servidor, capaz de suportar várias ligações ao mesmo tempo, pelo uso de Java Threads e também pela incorporação de primitivas novas para atuar

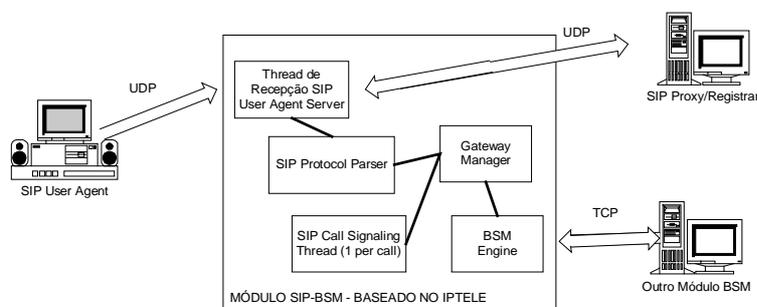


FIGURA 8 - MÓDULO SIP-BSM

em conjunto com outros SIP Proxys. O cliente teve seu parser também alterado, aumentando-se o número de mensagens interpretadas e enviadas. Foi eliminada a parte de transporte de mídia usando Java Media Framework, que possibilitava a codificação e decodificação de mídia, bem como o transporte da mesma via RTP. Como consequência, temos hoje uma implementação quase pronta de um cliente SIP totalmente nosso, mais completo e versátil, e com perfeita aderência aos padrões. A Figura 8, mostra a estrutura interna do módulo SIP-BSM. Este módulo foi escrito em Java, tem 2437 linhas de código e utiliza apenas as bibliotecas da SUN que vêm junto com o JRE (Java Runtime Environment).

3.3 Implementação do Módulo H.323-BSM

Este módulo foi baseado na implementação OpenGatekeeper [20], do OpenH323, que é uma implementação aberta e completa da pilha de protocolos H.323. Poderíamos ter partido de um cliente H.323, mas optamos pelo uso de um servidor que já implementa as mensagens LRQ/LCF/LRJ e possui toda a sinalização de um terminal H.323 completo. Além disso, o servidor é capaz de suportar múltiplas tentativas de tradução de sinalização, threads e gerenciar várias ligações simultaneamente.

Dentre as mudanças realizadas no código fonte do OpenGatekeeper temos :

- Interpretação das mensagens Q.931, H.225.0, e H.245. Apesar do OpenGatekeeper ter um modo de roteamento de sinalização através do GK, este roteamento se dava sem a interpretação das mensagens.
- Criação de mensagens Q.931, H.225.0, e H.245 e inserção de parâmetros nas mensagens. São funcionalidades relativas a terminais H.323 e não presentes num GK.
- Descoberta de parâmetros que deveriam ser opcionais de acordo com a recomendação, mas foram necessários para o Netmeeting da Microsoft, que não funciona sem eles. Fomos forçados a trabalhar também com estes parâmetros.
- Foi criada uma classe chamada Abstraction Layer, que implementa uma camada de interface entre a sinalização H.323 e a BSM para garantir a compatibilidade de sinalização com o módulo H.323 do Gateway. Assim diferentes versões de software H.323 (v.1 que trabalha com H.245, v.2 que pode trabalhar com conexões FastStart) poderiam se comunicar transparentemente com o mesmo Signaling Gateway.

A Figura 9, mostra a parte interna do módulo H.323-BSM do SGW. Este módulo foi escrito em C++ e é orientado a objetos. Ele está dividido em 51 classes distribuídas em 13 arquivos, totalizando 9825 linhas de código. Foram utilizadas duas bibliotecas de domínio público: o OpenH323 (873 classes) e a PWLib (359 classes), ambas orientadas a objeto e escritas em C++.

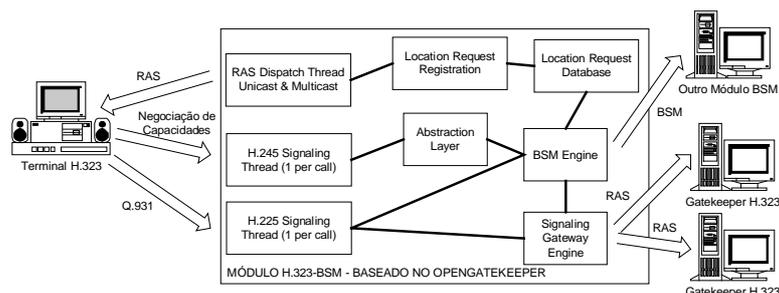


FIGURA 9 - MÓDULO H.323-BSM

4. TESTES DE INTEROPERABILIDADE USANDO O SGW

Primeiro módulo desenvolvido foi o SIP-BSM. Testamos inicialmente a sinalização entre dois módulos SIP-BSM, seguindo alguns cenários propostos em [12]. Na Figura 10, vemos o cliente SIP 1 (no canto inferior direito) chamando o outro cliente SIP 2 (no canto superior esquerdo). Esta chamada passa pelo "gateway ad-hoc" SGW SIP/SIP.



Figura 10 - Interoperação SIP/SIP

Depois de desenvolvido o módulo H.323-BSM, realizamos testes entre clientes SIP e terminais H.323. Os programas escolhidos para os testes foram: SIP User Agent (UA) da Ubiquity, e OpenPhone - terminal H.323 do OpenH323. Ambos funcionaram perfeitamente e estabeleceram a ligação ponto-a-ponto. Também foi testado o programa Netmeeting com o SIP User Agent da Ubiquity. Neste caso, entretanto, não foi possível fechar a sessão RTP porque o SIP UA da Ubiquity usa uma codificação de mídia exclusiva que o Netmeeting não possui.

No teste mais completo (Figura 11), temos uma arquitetura formada por 2 clientes (um H.323 e outro SIP), o SGW SIP/H.323 dividido em dois computadores, e um GK. Acompanhe a explicação numerada a seguir:

- (1) O terminal H.323 (OpenPhone) se registra no Opengatekeeper do seu domínio administrativo via RRQ, recebe (2) Confirmação via RCF.
- (3) Mais tarde, a chamada se inicia do lado SIP, onde o cliente SIP (Ubiquity) envia INVITE para algum usuário do lado H.323 via módulo SIP-BSM (neste teste, não estamos redirecionando pelo Proxy/Registrar).
- (4) SIP-BSM então devolve TRYING, uma resposta provisória e manda msgs BSM para o outro módulo H.323-BSM. (5) É enviada então, a msg BSM CAPABILITY ARRIVAL onde o conteúdo SDP do INVITE é armazenado no SGW para futura comparação com H.245.
- (6) BSM SETUP é enviado com os endereços origem e destino para montagem das mensagens de conexão no lado H.323.
- (7) SGW busca usuário na rede H.323, enviando LRQ para GK.
- (8) GK encontra o usuário (LCF) e entrega o IP dele para o SGW.
- (9) SGW então manda requisição. Q.931 SETUP para o OpenPhone.
- (10) OpenPhone automaticamente retorna Call Proceeding.
- (11) O OpenPhone então pede autorização para o GK via ARQ.
- (12) GK admite a chamada via ACF.
- (13) Então, OpenPhone sinaliza que o terminal está dando o toque de chamada.
- (14) Este toque de chamada é difundido do módulo H.323-BSM usando BSM RINGING.

(15) Toque vira 180 RINGING para o SIP, indicando que o telefone está tocando, mas o usuário não atendeu.

(16) Quando o usuário clica no botão de atendimento, é enviado Q.931 CONNECT para o módulo H.323-BSM.

(17) O módulo então inicia procedimentos H.245, onde, de posse das informações do primeiro SDP, ele negocia conjunto de mídias com o terminal H.323 (OpenPhone).

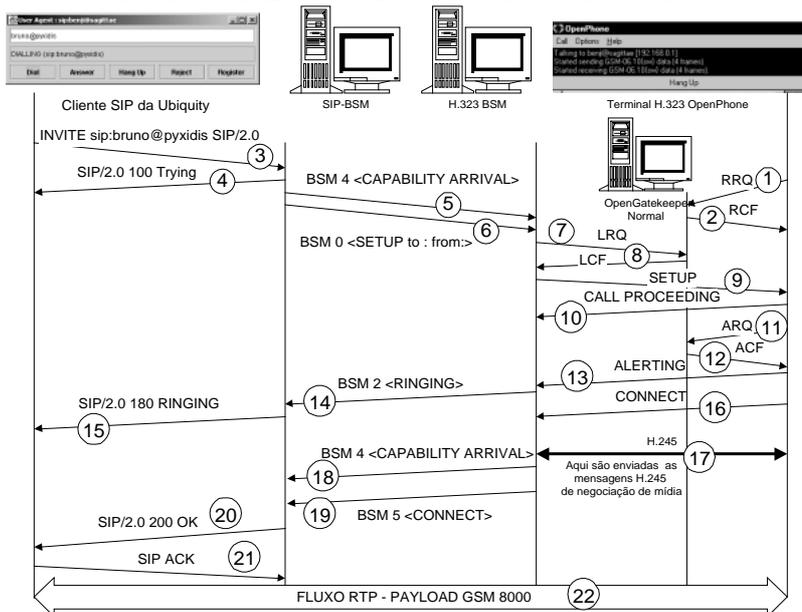
(18) Então, o módulo H.323-BSM envia para o módulo SIP-BSM as mensagens CAPABILITY ARRIVAL,

contendo as capacidades negociadas, e (19) BSM CONNECT para confirmar a chamada.

(20) Módulo SIP-BSM prepara msg 200 OK contendo as mídias negociadas (sub-conjunto do primeiro INVITE). (21) Cliente SIP sinaliza com a req. ACK.

(22) A mídia negociada no teste foi GSM com codificação 8000 bits.

FIGURA 11 - FLUXO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADA PELO SIP/H.323 SIGNALING GATEWAY



5. CONCLUSÕES

Neste artigo apresentamos uma implementação modular de um gateway de sinalização (SGW) entre os protocolos SIP e H.323, com aproveitamento parcial de código do OpenGatekeeper (do OpenH323) e do cliente SIP Iptele (da Universidade Tecnológica de Helsinki). A arquitetura do SGW utiliza um conjunto de funções BSM para a comunicação entre os módulos, permitindo que as duas partes do SGW rodem em máquinas separadas, distribuindo a carga de processamento. Além disso, cada módulo independe completamente do módulo parceiro, permitindo que módulos sejam combinados para formar novos gateways. As decisões de projeto adotadas visaram permitir que o SGW fosse capaz de suportar várias chamadas simultâneas e rodar eficientemente. Utilizamos para teste de interoperabilidade o Netmeeting, da Microsoft, que utiliza o padrão H.323, e o cliente SIP da Ubiquity. Os resultados demonstraram que o SGW opera de forma efetiva e aderente aos padrões.

A construção de um módulo do SGW não se trata apenas de ter algum mapeamento de mensagens adequado, mas sim de buscar um mapeamento que será compatível com um maior número de clientes. Isso implica em atender a parâmetros opcionais na recomendação que são obrigatórios em alguns clientes e usar eficientemente a BSM de modo a minimizar a possibilidade de *timeout* de sinalização.

A implementação de um SGW SIP/H.323 evita os problemas de compatibilidade para a rede convergente do futuro entre equipamentos e softwares que estão seguindo estas diferentes padronizações. A presença de um SGW nos permite partir para a construção de serviços heterôgeneos de telefonia IP (como, por exemplo, um voicemail que grava ligações das redes PSTN, H.323 ou SIP), e desta forma compartilhar recursos importantes. Existe espaço para aprimoramento da estrutura do SGW. Em especial, estamos estudando uma reformulação das mensagens da BSM, permitindo maior generalização e simplicidade de implementação. Testes de escalabilidade precisam ser feitos para cenários com alta carga de sinalização.

Várias questões poderão ser exploradas em trabalhos futuros. O fato da busca de usuários no H.323 ficar restrita a um domínio administrativo é uma grande limitação, e não traz uma boa escalabilidade para a Internet. Um servidor de localização baseado em DNS para H.323 poderia trazer maior abrangência. O tempo de resposta numa localização também é um fator negativo na implementação da telefonia IP. Caches de registro de usuários poderiam ser implementados como extensão nos clientes ou serem parte dos servidores de localização. Numa rede com mobilidade IP, o registro de clientes nos servidores deve ser aprimorado para ocorrer de forma mais automática e com uso de soft state ao invés de hard state.

Por fim, devido à simplicidade das funções BSM, que são encapsuladas num objeto de adaptação, e à característica de modularidade do SGW, pretendemos iniciar o desenvolvimento de outros Signaling Gateways, como o módulo BSM-MGCP, e o módulo BSM-SS7, para interoperar com os módulos já existentes.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Christian Huitema, et al. **An Architecture for Residential Internet Telephony Service**. IEEE Network Magazine. Maio/Junho, 1999. Vol.13. No. 3 .
- [2] ITU-T Recommendation H.323. **Packet-Based Multimedia Communications Systems**, Setembro, 1999.
- [3] M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler, J. Rosenberg. **IETF RFC 2543 – SIP : Session Initiation Protocol**, Julho, 1998.
- [4] M. Handley and V. Jacobson, "**SDP: Session Description Protocol**", Request for Comments (Proposed Standard) 2327, Internet Engineering Task Force, Abril, 1998.
- [5] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, "**RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications**", RFC (Proposed Standard) 1889, Internet Engineering Task Force, Jan., 1996.
- [6] International Telecommunication Union, "**Control Protocol For Multimedia Communication**", Recommendation H.245, ITU-T, Geneva, Switzerland, Fev. 1998.
- [7] International Telecommunication Union, "**Media Stream Packetization And Synchronization On Non-Guaranteed Quality Of Service Lans**", Recomm. H.225.0, ITU-T, Geneva, Switzerland, Nov., 1996.
- [8] Henning Schulzrinne, Jonathan Rosenberg. **Internet Telephony : Architecture and Protocols**. Computer Networks, 11 de Fevereiro de 1999. Vol. 31, no. 3.
- [9] H. Schulzrinne, J. Rosenberg. **A Comparison of SIP and H.323 for Internet Telephony**. Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV), Cambridge, Inglaterra, Julho, 1998.
- [10] M. Arango, A. Dugan, I. Elliott, C. Huitema, S. Pickett. **IETF RFC 2705 – MGCP : Media Gateway Control Protocol**. Outubro, 1999.
- [11] Inmaculada Espigares del Pozo. **An Implementation Of The Internet Call Waiting Service Using SIP**. Tese de Mestrado. Universidades Tecnológica de Helsinki e Politécnica de Valência. Dezembro, 1999.
- [12] Jonathan Rosenberg, e Henning Schulzrinne. **Interoperability Testing for SIP**. 7 de Abril de 1999. Universidade de Columbia, Nova York.
- [13] K. Singh, H.Schulzrinne. **Interworking Between SIP/SDP and H.323**. Proceedings do 1^o Workshop de Telefonia IP (IPTel'2000), Berlim, Alemanha, Abril, 2000.
- [14] K. Singh, H. Schulzrinne. **Interworking Between SIP/SDP and H.323**. IETF Draft., em andamento.
- [15] Bill Douskalis. **IP Telephony The Integration of Robust VOIP Services**. Hewlett-Packard Professional Books, Prentice Hall, Inc., 2000.
- [16] Kundan Singh, Henning Schulzrinne. **Unified Messaging using SIP and RTSP**. IP Telecom Services Workshop, Atlanta, Georgia, EUA, 11 de setembro de 2000.
- [17] **Succession Solutions Integration of Session Initiation Protocol**. Nortel Networks. Technical Brief. Setembro, 2000.
- [18] M. Wahl, S. Kille e T. Howes. **IETF RFC 2251 – Lightweight Directory Access Protocol (v3)**. Dez., 1997.
- [19] Site do OpenH323/OpenGatekeeper - <http://www.openh323.org>
- [20] A. Vemuri. **Carrier Use of SIP**. Level 3 Communications. Apresentação na Conferência Voice Over Networks (VON). Setembro, 1999.
- [21] T. Hastings. **IP Communications Services Trial**. MCIWORLD.COM. Apresentação na Conferência Voice Over Networks (VON). Setembro, 1999.
- [22] Bruno F. M. Ribeiro. **Implementação de Gateway de Sinalização entre Protocolos de Telefonia IP SIP/H.323**. Trabalho de Final de Curso, Departamento de Computação, UFRJ, Fevereiro, 2001.