

2046-DOCT

AUTONOMIC MANAGEMENT OF SPEECH QUALITY BETWEEN VOIP ENDPOINTS BASED ON A MULTIAGENT SYSTEMS APPROACH

Leandro Silva Galvão de Carvalho (Universidade Federal do Amazonas, AM, Brasil) - galvao@dcc.ufam.edu.br

Although studies on the VoIP technology have advanced in the last two decades, some problems such as quality provision are still open. Considering a scenario consisted of two VoIP terminals, the effect of fluctuations in underlying data network conditions can be concealed if the terminals cooperate proactively adjusting its internal parameters. The aim of the thesis proposed here is to show that autonomic management, by means of multi-agent systems approach, can be used to improve the speech quality in a VoIP call between two terminals. The adoption of a multidisciplinary approach, combining the areas of Data Networks and Multiagent Systems, is justified by the dynamics of the environment (TCP/IP networks) and the distribution of information, control and expertise, since the receiver is able to measure the quality of the voice stream, but only the sender can trigger effective control actions. Finally measurements over experimental tests will be used as evaluation technique of the research hypotheses, inasmuch as there are some available tools which were developed in previous work.

Keywords: VoIP, autonomic management, Speech Quality, Data Networks

GERENCIAMENTO AUTÔNOMICO DA QUALIDADE DA FALA ENTRE TERMINAIS VOIP BASEADO EM ABORDAGEM DE SISTEMAS MULTIAGENTE

Embora estudos sobre a tecnologia VoIP tenham avançado nas duas últimas décadas, alguns problemas, tais como a provisão de qualidade ao longo de toda uma chamada, ainda se encontram em aberto. Em um cenário em que dois terminais VoIP comunicam-se entre si, as oscilações das condições da rede de dados subjacente afetam a qualidade da fala. Tais efeitos podem ser amortizados caso os terminais cooperem entre si, proativamente, de modo a ajustar seus parâmetros internos em conformidade com as condições da rede. O objetivo da tese aqui proposta é mostrar que o emprego de gerenciamento autônomo, por meio da abordagem de sistemas multiagentes, promove melhoria da qualidade da fala em uma chamada VoIP entre dois terminais. A adoção de uma abordagem multidisciplinar, unindo as áreas de Redes de Dados e Sistemas Multiagentes, justifica-se pela dinamicidade do ambiente (redes TCP/IP) e pela distribuição das informações, controle e expertise, uma vez que o terminal receptor tem condições de medir a qualidade do fluxo de voz, mas ações

de controle eficazes somente podem ser disparadas pelo terminal emissor. Por fim, para validar as hipóteses de pesquisa, tenciona-se utilizar medições em testes experimentais, realizadas em ambiente controlado, aproveitando-se como base ferramentas desenvolvidas em trabalhos anteriores.

Palavras-chave: VoIP, gerenciamento autônomo, qualidade da fala, redes de dados

Introdução

A tecnologia de voz sobre IP (VoIP) e sua faceta mais característica, a Telefonia IP, apresentam-se cada vez mais no cotidiano das pessoas. O desejo e a necessidade de falar com alguém distante fisicamente, seja por motivos profissionais ou pessoais, estimulam o uso de serviços baseados em VoIP. Os usuários podem perceber tal exposição diretamente, por meio de aplicativos como o Skype, ou indiretamente, quando uma operadora telefônica encaminha as diversas chamadas de seus usuários por meio de uma infra-estrutura baseada em VoIP.

Embora a tecnologia VoIP desfrute dos avanços realizados nas duas últimas décadas, que a tornaram praticamente madura, um dos problemas que ainda não foram resolvidos é a provisão de garantias de qualidade (KARAPANTAZIS; PAVLIDOU, 2009). A complexa e heterogênea gama de componentes de hardware e software envolvidos e a característica de tempo real das conversações VoIP dificultam não apenas a entrega de serviço com qualidade semelhante à telefonia comutada tradicional, mas também a intervenção humana em tempo hábil para diagnóstico e resolução de falhas.

Uma possível solução para esse problema consiste em modificar os softphones para que eles mesmos gerenciem seus parâmetros internos de tal modo a compensar as perdas na rede, impedindo que a qualidade da fala seja comprometida. Tal abordagem encontra ressonância no paradigma da computação autônoma e, em especial, das redes autônomas (BRAGA ET AL., 2006). Esse paradigma define elementos capazes de gerenciar a si próprios com pouca ou nenhuma intervenção humana, implementando para tal um laço de controle contínuo, o qual realiza *monitoração* e *análise* de dados internos e externos ao elemento gerenciado, e também *planejamento* e *execução* de ações corretivas ou que otimizem o funcionamento desse elemento.

Além da capacidade de autogerenciamento, esses elementos autônomos são dotados de adaptabilidade, consciência do ambiente em que estão inseridos e habilidade de interação dinâmica com os demais elementos. Tais características são as mesmas exibidas pelos sistemas multiagente (WOOLDRIDGE, 2009), (QUITADAMO; ZAMBONELLI, 2008), (DOBSON ET AL., 2006). Por ser uma área de pesquisa bastante explorada, os sistemas multiagente oferecem métodos e ferramentas que podem ser estendidas para solucionar o problema de qualidade da fala em comunicações VoIP exposto acima.

Tendo essas idéias em mente, podemos apresentar o problema de pesquisa a ser abordado na tese.

1.1. Problema de pesquisa

A qualidade da fala em uma comunicação VoIP depende, de um lado, das condições da rede de dados e, de outro, de parâmetros configuráveis nos terminais VoIP envolvidos. Como as redes de dados baseadas no protocolo TCP/IP não foram projetadas para entregar pacotes em tempo real, os valores de atraso e de taxa de perda de pacotes podem ser tão elevados que comprometam a interatividade e a integridade da chamada VoIP.

Uma estratégia para solucionar esse problema seria utilizar agentes de software para ajustar os parâmetros dos terminais VoIP, a fim de amortizar os efeitos deletérios da rede, de modo que os usuários não os percebam ou sofram menor impacto. Nesse sentido, algumas arquiteturas de gerenciamento adaptativo da qualidade da fala têm sido propostas na literatura (MANOUSOS ET AL., 2005), (COSTA; NUNES, 2009), (QIAO ET AL., 2004), (MYAKOTNYKH; THOMPSON, 2009), (VIANNA ET AL., 2006).

No entanto, as heurísticas de adaptação das soluções apresentadas até o momento estão estritamente condicionadas ao conjunto de codecs estudados por elas. A cada nova sessão VoIP, os terminais trocam entre si uma lista de codecs comuns. Assim, a composição dessa lista pode mudar, pois nem sempre os codecs disponíveis em um terminal também o estão em outro. Portanto, tais soluções têm aplicabilidade restrita.

O problema a ser abordado na tese aqui proposta é como projetar terminais VoIP para gerenciarem adaptativamente seus parâmetros internos de modo a oferecer o melhor nível de qualidade, considerando as condições adversas da rede e o conjunto de codecs em comum para aquela sessão.

1.2. Objetivos

O objetivo geral da tese aqui proposta é mostrar que o emprego de gerenciamento autônomo, por meio da abordagem de sistemas multiagentes, promove melhoria da qualidade da fala em uma chamada VoIP, a um custo de pequeno aumento no consumo de largura de banda.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Caracterizar o intervalo de valores que os parâmetros controlados pelos terminais VoIP podem ser ajustados, levando em consideração métricas de qualidade da fala e a relação de compromisso entre relevância estimada do ajuste e efeitos colaterais esperados.
- Demonstrar a eficiência da solução proposta, em termos de aumento da qualidade da chamada, tempo de resposta do ciclo de gerenciamento autônomo e consumo de largura de banda.
- Demonstrar o limite de eficiência da solução proposta, uma vez que a degradação da rede de dados pode ser tão intensa que não seja possível restabelecer a qualidade da fala apenas através de ações baseada nos terminais.

1.3. Justificativa

Embora o tema de gerenciamento adaptativo de sessões VoIP tenha sido abordado em (MYAKOTNYKH; THOMPSON, 2009), (VIANNA ET AL., 2006), (MANOUSOS ET AL., 2005), (COSTA; NUNES, 2009), entre outros, ainda existem algumas questões em aberto, como aquelas colocadas por (MYAKOTNYKH; THOMPSON, 2009): 1) melhoria do algoritmo de controle de parâmetros, de forma a minimizar a possibilidade de que as alterações levem ao decaimento de qualidade, 2) investigação detalhada de como a percepção dos usuários é afetada no momento em que as alterações de parâmetros são aplicadas, 3) uso de um conjunto maior de codecs que podem ser selecionados pelo mecanismo de gerenciamento adaptativo e 4) consideração de outros modelos de tráfego de fundo.

Observa-se ainda que (MYAKOTNYKH; THOMPSON, 2009) não abordou em profundidade as ações de recuperação baseadas no receptor, tal como o controle do buffer de compensação de jitter. Resultados preliminares (VALLE ET AL., 2009) indicam a viabilidade de gerenciamento de buffers de jitter como ação efetiva para melhorar a qualidade da fala.

Outra contribuição que se deseja alcançar com este trabalho reside em trazer a abordagem de sistemas multiagentes para resolver problemas da área de voz sobre IP. Os escassos trabalhos existentes a respeito dessa intersecção enfocaram apenas soluções baseadas no servidor de mídia e/ou sinalização, deixando inexploradas as soluções baseadas nos terminais (SKOMERŠIĆ; PARAT, 2008), (PFEIFFENBERGER ET AL., 2006), (SHANKAR ET AL., 2008).

Além disso, o problema de pesquisa descrito adere a três dos quatro fatores levantados por (WOOLDRIDGE, 2009) para adequabilidade de uma abordagem baseada em agentes:

- **O ambiente é aberto, ou pelo menos altamente dinâmico, incerto ou complexo.** As redes de dados TCP/IP, que realizam o transporte dos pacotes de voz, é conhecida justamente por essas características.
- **Agentes é uma metáfora natural.** Os terminais receptor e emissor podem ser vistos como agentes que colaboram em prol de manter um bom nível de qualidade da fala.

- **Distribuição de dados, controle e expertise.** Apenas o terminal receptor tem condições de medir a qualidade do fluxo de voz, mas o controle da taxa de transmissão de bits somente pode ser disparado no terminal emissor.

2. Referencial teórico

A comunicação entre dois terminais VoIP começa pela troca de mensagens de sinalização entre os mesmos. A sinalização possui três funções básicas (KARAPANTAZIS; PAVLIDOU, 2009): localização do usuário chamado, estabelecimento da sessão e negociação de propriedades da sessão. Os terminais chamador (o que inicia a chamada) e chamado (o que recebe a chamada) podem trocar as mensagens de sinalização de forma direta ou por intermédio de um servidor de sinalização (*proxy SIP* ou *gatekeeper H.323*).

Depois de estabelecida a sessão VoIP, inicia-se a troca de fluxo de mídia entre os terminais. Nesta etapa, a distinção já não é mais entre terminal chamador ou chamado, mas sim entre terminal emissor (o que envia o fluxo de voz) e o receptor (o que recebe o fluxo de voz). Como a natureza da aplicação é uma conversa, um mesmo terminal assume ora o papel de emissor, ora o de receptor. O fluxo de voz é transportado pelo Protocolo de Tempo Real (RTP – *Real Time Protocol*) sobre os protocolos UDP e IP, e controlado pelo RTCP (*Real Time Control Protocol*).

Como ilustra a Figura 1, a voz do emissor, captada por um microfone, é codificada pelo codec em quadros. Um ou mais quadros são acomodados em pacotes, que recebem os cabeçalhos RTP, UDP e IP antes de serem transmitidos à rede. Ao chegarem ao receptor, esses pacotes são inseridos em um buffer de compensação de jitter, a fim de eliminar a variação de atraso sofrida na rede de dados e reordenar os pacotes. Uma vez reconstituída a cadência, os quadros de voz são decodificados no codec e reproduzidos ao ouvinte.

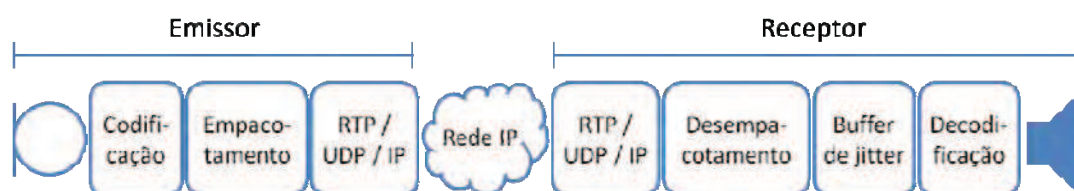


Figura 1 - Componentes de uma transmissão unidirecional de voz sobre IP.

Para efeito desta proposta de tese, o protocolo utilizado para estabelecer a sessão VoIP (SIP, H.323 ou outro) não é importante. Como o objeto de estudo consiste na auto-recuperação da qualidade do fluxo de voz, a atenção será voltada apenas para os componentes ilustrados na Figura 1.

2.1. Avaliação da Qualidade da Fala

A qualidade da fala de uma conversação (baseada em VoIP ou na telefonia tradicional) é normalmente medida na escala MOS (*Mean Opinion Score*), que varia de 1 (pobre) a 5 (excelente). Valores de MOS acima de 3,6 são considerados aceitáveis para a telefonia comercial (ITU-T, 2005). Como uma conversação entre terminais VoIP envolve dois fluxos de voz, uma chamada é caracterizada por duas medidas MOS, as quais não são necessariamente iguais, pois a rede de dados não é simétrica. A pontuação MOS resulta de uma medição subjetiva, pela qual avaliadores opinam sobre a qualidade da conversa com base na sua experiência como usuários de telefonia. Em virtude disso, testes subjetivos de MOS

são caros, demorados e difíceis de reproduzir, além de serem inadequados para diagnóstico e análise de falhas em tempo real (MANOUSOS ET AL., 2005).

Como alternativa à medição subjetiva da qualidade da fala, métodos objetivos são utilizados para estimar pontuações de qualidade da fala. Eles são classificados em dois grupos: *perceptuais* (ou baseados em sinais) e *computacionais* (ou baseados em parâmetros). O primeiro grupo compara o sinal de voz reproduzido no receptor (sinal degradado) com o sinal de voz do emissor (sinal original), considerando a maneira como o sistema auditivo humano percebe distorções. Já o segundo grupo converte em parâmetros as distorções que prejudicam a qualidade do fluxo de voz e os computa, fornecendo uma pontuação final.

Entre os métodos perceptuais, o estado da arte é representado pelo PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*), definido em (ITU-T, 2001). Sua aplicação é mais indicada para a avaliação da inteligibilidade da chamada (*listening quality*) (FALK; CHAN, 2008). Em (RIX ET AL., 2000), demonstra-se que o grau de correlação do PESQ com testes subjetivos é de 93,2%. Contudo, um alto grau de correlação não implica necessariamente em alto grau de exatidão (TAKAHASHI ET AL., 2004). Ou seja, o PESQ é mais adequado para medir variações na qualidade da fala, mas não para determinar o nível de qualidade *absoluta*.

Já entre os métodos computacionais, o estado da arte é representado pelo Modelo E, definido na Recomendação ITU-T G.107 (ITU-T, 2005). Apesar de ter sido originalmente projetado para uso apenas na fase de planejamento, o Modelo E teve sua aplicação entendida em (CLARK, 2001) e aprimorada em (CARVALHO ET AL., 2005), de modo que seu emprego é aceitável para medir variações na qualidade da fala (MYAKOTNYKH; THOMPSON, 2009). Estudos detalhados realizados em (TAKAHASHI ET AL., 2004) mostraram que o coeficiente de correlação entre o Modelo E e testes subjetivos é de 79,3%. O resultado do Modelo E é o fator R , cuja escala se situa entre 0 (pior caso) e 100 (excelente), conversível à escala MOS. Simplificadamente, o fator R é dado pela seguinte expressão:

$$R = 93,2 - Id(\text{codec}, \text{atraso}) - Ie,eff(\text{codec}, \text{perda}) \quad (1)$$

onde Id representa as perdas associadas ao atraso fim a fim e Ie,eff representa as perdas associadas à compressão do codec, à perda de pacotes e ao comportamento da perda de pacotes ao longo da chamada.

Para fins de monitoramento em tempo real, a expressão do fator Id é determinada por sua versão simplificada:

$$Id = \begin{cases} 0,024 \cdot Ta & , \text{ se } Ta \leq 177,3 \\ 0,134 \cdot Ta + 18,103 & , \text{ se } 177,3 < Ta \leq 300 \end{cases} \quad (2)$$

onde Ta é o atraso fim a fim, equivalente à soma dos atrasos inseridos pela rede (T_{rede}), pelo buffer de compensação de jitter (T_{buffer}) e pelo codec (T_{codec}), o qual se subdivide no tempo de formação do quadro (T_{frame}) e no tempo de predição (T_{look}).

O fator Ie,eff , por sua vez, é determinado pela seguinte expressão:

$$Ie,eff = Ie + (95 - Ie) \cdot \frac{Ppl}{Ppl + Bpl} \quad (3)$$

onde Ppl representa a taxa de perda de pacotes, seja na rede (Ppl_{rede}) ou por descarte do buffer de jitter (Ppl_{buffer}); Ie é o fator de degradação inserida pelo algoritmo de compressão do codec a 0% de perda de pacotes; e Bpl é o fator de robustez do codec à perda de pacotes.

A versão estendida do Modelo E, baseada no fato de que a perda de pacotes na rede IP não é uniforme, também considera o comportamento da perda de pacotes (PLB – *packet loss behavior*) na estimativa final da pontuação MOS (CLARK, 2001) (CARVALHO ET AL., 2005). A Figura 2 resume os locais de medição dos parâmetros de entrada do Modelo E.

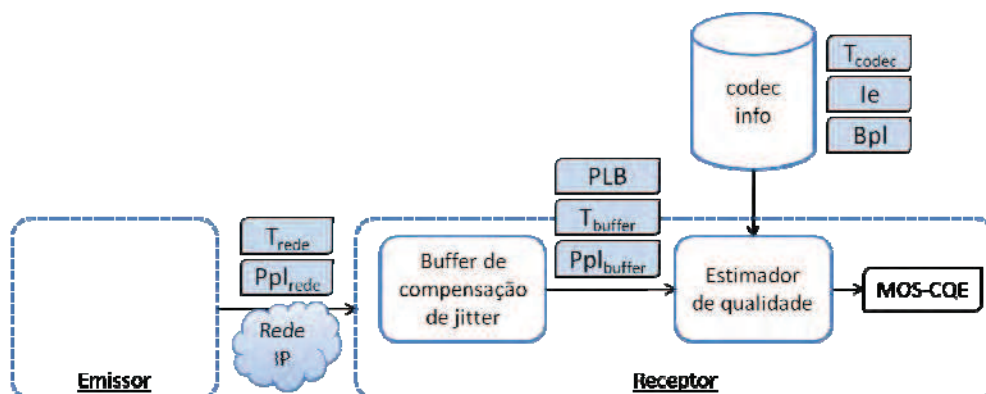


Figura 2 - Parâmetros de entrada do Modelo E e seus respectivos locais de medição.

Por fim, a Rec. ITU-T P.800.1 (ITU-T, 2006) estabelece uma diferenciação entre as pontuações MOS derivadas pelos diversos métodos, adicionando identificadores ao final da abreviatura. Assim, *CQ* (*conversational quality*) refere-se à qualidade de conversação, ou seja, à qualidade percebida em uma comunicação entre duas pessoas. *LQ* (*listening quality*) refere-se à qualidade de escuta, ou seja, sem interação com um interlocutor. Quanto ao método utilizado para chegar à pontuação MOS, *S* indica métodos subjetivos, *O* indica métodos perceptuais, e *E* indica estimativa por métodos computacionais. Assim, na Figura 2, o receptor estima a qualidade de *conversação* por meio do *Modelo E*.

2.2. Gerenciamento de Falhas

A medição de qualidade, por si só, apenas nos fornece dados que estimam a percepção dos usuários em relação aos fluxos de fala trocados. Portanto, para que os terminais VoIP auto-controlem a qualidade da fala, são necessárias etapas adicionais para diagnóstico e correção de eventuais problemas, o que é proporcionado pelo gerenciamento de falhas.

O gerenciamento de falhas é baseado em um ciclo contínuo que envolve quatro etapas: monitoramento, análise, planejamento e execução (BRAGA ET AL., 2006). A visão de autogerenciamento trazida pela computação autônoma inclui uma quinta etapa, a do aprendizado, de forma que os sistemas possam aprender com suas experiências.

A seguir, analisamos as modificações necessárias em um softphone VoIP e as dificuldades a serem vencidas em cada uma das quatro etapas do ciclo de gerenciamento.

2.2.1. Etapa de Monitoramento

Um sistema autônomo não pode gerenciar o que ele não sabe que existe. Nesse caso, o autoconhecimento e autoconsciência são conceitos importantes e devem ser providos pelo modelo de elemento autônomo utilizado (BRAGA ET AL., 2006).

No contexto de uma chamada VoIP, a observação da pontuação MOS é uma forma de se “conhecer” a qualidade da fala. Porém, ela não é suficiente para determinar a(s) causa(s), nem para planejar quais parâmetros devem ser ajustados para melhoria da qualidade. Portanto, além da pontuação MOS, outros parâmetros também devem ser monitorados. Entre eles, estão o atraso (*Ta*) e perda de pacotes (*Ppl*), os quais, por sua vez, devem vir desmembrados em termos de contribuição do codec, da rede e do buffer de jitter.

O receptor do fluxo de voz deve ser responsável pelo monitoramento, pois somente nele é possível determinar o atraso total e a perda total de pacotes. Proxy e gateways de mídia podem também realizar monitoramento, mas as medidas coletadas oferecerão apenas uma visão parcial da qualidade do fluxo de voz, uma vez que pacotes podem se perder ou se atrasar mais no trajeto desde o ponto de medição até o receptor.

2.2.2. Etapa de Análise

Nesta etapa, deve ser realizada a verificação dos contextos interno e externo do elemento gerenciado, transformando os *dados* de entrada, advindos da etapa de monitoramento, em *informações* úteis que possam ser analisadas, e que levem a conclusões sobre diversos aspectos relacionados ao elemento gerenciado, tais como desempenho ou falhas (BRAGA ET AL., 2006).

Uma decisão importante é definir em que elemento – emissor ou receptor – o agente de análise deverá residir. Caso o agente fique no receptor, ele já poderá disparar algumas ações de planejamento e recuperação enquanto envia uma mensagem de retorno ao emissor, orientando-o sobre que ações devem ser tomadas para melhorar a qualidade da fala.

Por outro lado, se o agente de análise ficar instalado no emissor, a mensagem de retorno do receptor será maior que no caso anterior, pois deverá conter todos os parâmetros monitorados necessários para apoiar o planejamento de ações de recuperação de qualidade. Além disso, se o emissor decidir que o receptor deve tomar alguma ação, uma mensagem extra deve ser enviada ao receptor. Isso não apenas aumentaria o consumo de largura de banda, como também atrasaria o disparo das ações de recuperação baseadas no receptor.

2.2.3. Etapa de Planejamento

A principal função a ser desenvolvida pela etapa de planejamento é escolher ou elaborar um plano de ações a serem seguidas, de acordo com o resultado da análise realizada na etapa anterior (BRAGA ET AL., 2006). Para tanto, é necessário estabelecer uma distinção entre parâmetros *monitorados* e parâmetros *ajustáveis*. Os primeiros são aqueles que podem ser mensurados no lado receptor da chamada. Já os últimos são aqueles que podem ser controlados no emissor ou no próprio receptor. Por exemplo, a perda total de pacotes é um parâmetro monitorado, porém, não é um parâmetro ajustável, uma vez que seu valor independe de ajustes efetuados no emissor ou no receptor. Estes podem controlar outros parâmetros no intuito de reduzir a perda, mas essa relação se dará de forma indireta.

Uma vez estabelecida essa diferença, outra consideração é que os parâmetros ajustáveis não podem ser tratados isoladamente, pois a otimização com respeito a um deles tem efeito prejudicial sobre os demais (MANOUSOS ET AL., 2005). Por exemplo, o aumento da duração do pacote pode diminuir a taxa de perdas de pacotes (*Ppl*), mas, por outro lado, aumenta o atraso (*Ta*) e reduz a robustez à perda de pacotes (*Bpl*). A Tabela 1 abaixo exhibe algumas ações que a etapa de planejamento pode deliberar e os respectivos benefícios e efeitos colaterais esperados.

As ações que envolvem PLC, FEC e compressão de cabeçalho não serão consideradas nesta proposta, pois essas técnicas não possuem implementação conhecida em código aberto e a avaliação do trabalho será baseada em medições. O desenvolvimento de código para implementar essas ações poderia desviar o foco do objetivo geral.

Tabela 1 - Lista de ações que podem ser executadas pelo emissor (ou receptor), e os respectivos benefícios esperados e efeitos colaterais.

Elemento	Ação	Benefício esperado	Efeito colateral
Receptor	Trocar algoritmo de compensação de jitter	Melhoria do atraso fim a fim (Ta) e da perda de pacotes (Ppl)	--
	Alterar tempo de permanência dos pacotes de voz no buffer de jitter	Redução do atraso fim a fim (Ta)	Aumento do descarte de pacotes (Ppl)
		Redução do descarte de pacotes (Ppl)	Aumento do atraso fim a fim (Ta)
	Alterar algoritmo de compensação de perda de pacotes (PLC)	Melhoria da robustez à perda de pacotes (Bpl)	--
Emissor	Trocar codec	Alteração da qualidade de compressão (Ie), da robustez à perda de pacotes (Bpl), do atraso de codificação (T_{frame}) e do atraso de predição (T_{look})	Aumento do atraso fim a fim (Ta) Aumento da perda de pacotes na rede (Ppl_{rede})
	Alterar grau de empacotamento	Alteração da robustez à perda de pacotes (Bpl) e do atraso de codificação (T_{frame})	
	Adotar ou alterar correção antecipada de erro (FEC)	Alteração da robustez à perda de pacotes (Bpl)	Aumento do atraso fim a fim (Ta)
	Adotar ou alterar compressão de cabeçalho	- Redução da perda de pacotes devido a congestionamento na rede (Ppl_{rede}).	- Aumento da perda de pacotes na rede (Ppl_{rede}), devido à perda de sincronia - Aumento do atraso de transmissão na rede (T_{rede})

2.2.4. Etapa de Execução

O agente responsável pela etapa de execução deve ser projetado para atuar sobre os terminais emissor e receptor, buscando configurá-los conforme definido pelo agente de planejamento. Portanto, o agente de execução não deve julgar se as ações executadas são adequadas ou não, pois a viabilidade e necessidade das mesmas deve ter sido cuidadosamente avaliada na etapa de planejamento. Cabe ao agente apenas executar o plano da forma como foi recebido e também tratar as eventuais falhas que possam ocorrer (BRAGA ET AL., 2006).

2.3. Sistemas Multiagente

Embora não haja um consenso sobre a definição de agentes, uma definição que abrange os principais atributos de um agente é dada por (WOOLDRIDGE, 2009): “Um agente é um sistema computacional que está *situado* em algum *ambiente*, no qual é capaz de realizar *ações autônomas*, de forma a cumprir seus objetivos” (grifos do autor).

Sistemas multiagentes, por sua vez, são sistemas compostos por múltiplos agentes, que exibem um comportamento autônomo, mas que ao mesmo tempo interagem com os outros agentes presentes no sistema. Esses agentes exibem duas características fundamentais: serem capazes de agir de forma autônoma tomando decisões levando à satisfação dos seus objetivos; serem capazes de interagir com outros agentes utilizando protocolos de interação social inspirados nos humanos e incluindo pelo menos algumas das seguintes funcionalidades: coordenação, cooperação, competição e negociação (REIS, 2003).

No contexto de chamadas VoIP, fica claro que as funcionalidades de coordenação e cooperação deverão ser modeladas nos agentes envolvidos. Mas, além de trabalharem em conjunto, os agentes devem ser capazes de entenderem um ao outro. Para tanto, é necessário que eles concordem sobre a *terminologia* que eles utilizam para descrever um domínio.

Por exemplo, os agentes devem ser capazes de concordar sobre o que significa “atraso” e também o que são as unidades de medida “segundos” ou “milissegundos”. Segundo (WOOLDRIDGE, 2009), *ontologia* é uma especificação formal de um conjunto de termos com o objetivo de prover uma base comum de entendimento sobre algum domínio. Portanto, uma ontologia deverá ser adotada para especificar os agentes de uma maneira formal e passível de interpretação automatizada.

3. Procedimentos metodológicos

Os procedimentos previstos para se alcançar os objetivos propostos são listados no Quadro 1 abaixo. Apesar de organizados linearmente, alguns passos poderão ser conduzidos em paralelo, principalmente no que concerne aos procedimentos do grupo 1 (projeto e implementação) e do grupo 2 (testes e validação).

Quadro 1 - Lista de procedimentos metodológicos.

1. Projetar e implementar os agentes responsáveis pelo ciclo de gerenciamento adaptativo de qualidade da fala a. Adotar uma metodologia de desenvolvimento de agentes i. Selecionar uma plataforma de implementação de agentes ii. Definir ontologia de descrição do domínio do problema b. Adotar um softphone como base de implementação c. Modelar e implementar agente de monitoramento d. Modelar e implementar agente de análise (diagnóstico) e. Modelar e implementar agente de planejamento f. Modelar e implementar agente de execução g. Integrar agentes 2. Testar e validar a. Definir cenários de avaliação b. Avaliar desempenho do mecanismo de adaptação

A técnica de avaliação de desempenho selecionada para a solução proposta foi o de medições em testes experimentais realizados em ambiente controlado. Modificações da família de softphones baseada na biblioteca OpenH323 (H.323 PLUS PROJECT, 2010) vem sendo acumuladas como resultado de trabalhos anteriores desenvolvidos pelo Grupo de Redes de Computadores e Multimídia da Universidade Federal do Amazonas (GRCM/UFAM) (CARVALHO ET AL., 2005), (BEZERRA ET AL., 2008), (VALLE ET AL., 2009). Portanto, elas serão utilizadas como base para o desenvolvimento do trabalho ora proposto.

A seguir, cada passo da lista de procedimento é detalhado.

1.a) Adotar uma metodologia de desenvolvimento de agentes

Segundo (WOOLDRIDGE, 2009), metodologias consistem normalmente de uma coleção de modelos e um conjunto de diretrizes associado a eles. Os modelos são concebidos para formalizar o entendimento de um sistema sob consideração. Tipicamente, os modelos começam por um esboço abstrato e, durante as fases de análise e projeto, vão se tornando cada vez mais concretos, detalhados e próximos de implementação.

Portanto, temos de adotar uma metodologia para projetar os agentes que gerenciarão a qualidade da fala e uma plataforma de implementação para os mesmos. Nesse sentido, nossa proposta é adotar metodologia Gaia, proposta em (ZAMBONELLI ET AL., 2003).

A metodologia Gaia oferece uma abordagem orientada a papéis para a *análise* e *projeto* de sistemas baseados em agentes. Após a identificação de papéis-chaves no sistema,

um modelo de papéis detalhado é construído, os quais são mapeados em um modelo de classe de agentes (WOOLDRIDGE, 2009).

1.a.i) Selecionar uma plataforma de implementação de agentes

Uma vez projetado o sistema multiagente, é necessário implementá-lo, a fim de testá-lo e validá-lo. Entre as plataformas de desenvolvimento disponíveis, uma das mais utilizadas e dotadas de uma ampla comunidade de suporte é o JADE.

JADE¹ (*Java Agent DEvelopment framework*) é uma plataforma de desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes, conforme especificações da FIPA² (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) para interoperabilidade entre sistemas multiagentes (BELLIFEMINE ET AL., 2007). Implementada na linguagem Java, seu código fonte é aberto.

O principal objetivo do JADE é simplificar e facilitar o desenvolvimento de sistemas multiagentes, garantindo um padrão de interoperabilidade através de um abrangente conjunto de agentes de serviços de sistema, os quais facilitam e possibilitam a comunicação entre agentes, de acordo com as especificações da FIPA. A FIPA é uma associação internacional sem fins lucrativos, ligada desde 2002 à IEEE, com a finalidade de desenvolver um conjunto de padrões relacionados à tecnologia de agentes de software. Abaixo, são elencadas algumas características oferecidas pelo JADE que foram essenciais para sua seleção.

- Biblioteca de protocolos FIPA.
- Integração, permitindo aplicações externas carregarem agentes autônomos JADE.
- Transporte de mensagens no formato FIPA-ACL (*Agent Communication Language*) dentro da mesma plataforma de agentes.
- Ferramentas de depuração de código (*debugging*).
- Registro e cancelamento automático de agentes com o sistema gerenciador de agentes (AMS – *Agent Management System*), permitindo abstração ao desenvolvedor.
- Interface GUI (*Graphical User Interface*).

Além dessas razões, há trabalhos na literatura que se dedicam ao processo de conversão de modelos Gaia em código JADE (MORAITIS; SPANOUDAKIS, 2006), fechando o ciclo completo de desenvolvimento de software.

1.a.ii) Definir ontologia de descrição do domínio do problema

Como grande parte da pesquisa corrente em ontologias tem sua origem na área de Web Semântica, existem poucas propostas de ontologia para representar o domínio de redes de computadores e, em especial, comunicações VoIP. Uma delas, apresentada em (GENEITAKIS ET AL., 2008), enfatiza a representação de conceitos de segurança para mensagens de sinalização SIP, cobrindo poucos conceitos de qualidade de serviço. Outra ontologia encontrada, a NetQoSOnt (PRUDÊNCIO ET AL., 2009), é “(...) orientada à especificação de QoS utilizando uma lista extensível de parâmetros de qualidade em qualquer nível dos serviços de redes”.

O estudo de caso utilizado em (PRUDÊNCIO ET AL., 2009) para apresentar a NetQoSOnt foi a especificação de QoS em uma sessão VoIP. Além disso, a NetQoSOnt está especificada na linguagem OWL³ (*Web Ontology Language*), padronizada pelo W3C (*World Wide Web Consortium*) e está construída sobre a MUO⁴ (*Measurement Units Ontology*), uma ontologia de representação das unidades de medida mais utilizadas internacionalmente em ciência, engenharia e negócios. Por esses motivos, a NetQoSOnt será adotada como ontologia dos agentes envolvidos no gerenciamento adaptativo das chamadas VoIP.

¹ <http://jade.tilab.com/>

² <http://www.fipa.org>

³ <http://www.w3.org/2004/OWL/>

⁴ https://forge.morfeo-project.org/wiki_en/index.php/Measurement_Units_Ontology

1.b) Adotar um softphone como base de implementação

Os softphones adotados como base de implementação foram o CallGen (emissor) e o OpenAM (receptor). Ambos são construídos sobre a biblioteca OpenH323 (H.323 PLUS PROJECT, 2010). Os softphones oferecem interface com usuário via linha de comando. A biblioteca OpenH323 implementa sinalização, codecs, buffer de compensação de jitter, os protocolos RTP/RTCP, entre outras funcionalidades.

As razões que definiram a escolha dessa família de aplicativos foram: 1) possuem código-fonte aberto, 2) oferecem interface via linha de comando, o que possibilita automatização dos experimentos por meio de *scripts*, 3) possibilitam registro de arquivo de eventos (*log*), 4) o CallGen gera chamadas por meio de arquivo pré-gravado e possibilita repetição e ajuste da duração das chamadas, e 5) o OpenAM grava as chamadas recebidas em arquivos de voz, viabilizando avaliações segundo o PESQ.

No entanto, os softphones deverão ser modificados para as seguintes finalidades:

- Executar comandos definidos pelo agente de execução, tais como: troca de codec e alteração do número de quadros por pacote de voz.
- Oferecer suporte à ontologia NetQoSOnt.
- Realizar interface com API do JADE.

1.c) Modelagem e implementação do agente de monitoramento

A modelagem do agente de monitoramento deverá reutilizar os resultados de trabalhos anteriores (CARVALHO ET AL., 2005), (VALLE ET AL., 2009), os quais adaptaram a biblioteca OpenH323 para realizar monitoramento da qualidade de chamadas VoIP em tempo real. Nossas alterações incluem ainda uma implementação do RTCP XR (FRIEDMAN ET AL., 2003), disponível em (GIL; CARVALHO, 2008). O RTCP XR é responsável por enviar periodicamente métricas VoIP de qualidade do receptor ao emissor do fluxo de voz.

1.d) Modelagem e implementação do agente de análise (diagnóstico)

O lado receptor deverá acompanhar periodicamente o valor de três parâmetros críticos: MOS, atraso fim a fim (*Ta*) e taxa total de perda de pacotes (*Ppl*), como sugerido em (MANOUSOS ET AL., 2005). O intervalo de valores atingidos por esses parâmetros pode ser dividido em três regiões (BINZENHÖFER ET AL., 2007): verde (confortável), amarela (atenção) e vermelha (crítica).

Caso um ou mais deles entre em uma região de atenção ou apenas um deles entre na região crítica, o agente de diagnóstico deverá determinar a causa do problema detectado.

1.e) Modelagem e implementação do agente de planejamento

Nesta fase, o agente de planejamento deve ser projetado de modo a “conhecer” como os parâmetros monitorados são influenciados pelos parâmetros ajustáveis e, principalmente, como estes últimos podem ter efeitos prejudiciais uns sobre os outros, uma vez que não podem ser tratados isoladamente (MANOUSOS ET AL., 2005). Essa relação de compromisso entre os parâmetros é complexa e não pode ser representada em uma forma fechada, pois envolve condições de rede e acústicas que não podem ser modeladas (WAH; SAT, 2009).

Para contornar esse problema, nossa proposta é conduzir experimentos *offline* a fim de derivar curvas características para os diversos codecs e variações de tamanho de pacote. O comportamento isolado dos codecs será armazenado em arquivos de profile, contendo uma “assinatura de desempenho” do codec. O agente de planejamento, de posse da lista de codecs

comuns ao emissor e receptor, fará o cruzamento dos *profiles* dos codecs disponíveis, determinando qual o codec e grau de empacotamento mais apropriado para a conjuntura.

Com a abordagem de planejamento de ações de adaptação baseada em “assinaturas de desempenho”, pretende-se fazer com que a heurística de decisão seja independente do contexto de codecs disponíveis. Um ponto fraco das heurísticas propostas por (COSTA; NUNES, 2009), (QIAO ET AL., 2004) e (MYAKOTNYKH; THOMPSON, 2009) é que elas dependem de que o softphone ofereça apenas os codecs utilizados no estudo, nenhum a mais, nenhum a menos. A adição ou retirada de codecs exige uma nova bateria de testes *offline* e uma alteração do próprio algoritmo. Pela nossa proposta, o agente de planejamento deverá comparar as características de cada codec disponível no momento, para depois decidir pelo mais adequado.

Além disso, testes experimentais deverão ser conduzidos com a finalidade de quantificar, em termos de pontuação MOS, o impacto da troca de parâmetros do emissor (codec e grau de empacotamento) sobre a qualidade da fala em uma chamada em andamento. Na impossibilidade de se realizar testes subjetivos, testes com o PESQ serão suficientes para averiguar a variação da qualidade.

1.f) Modelagem e implementação do agente de execução

Mais do que repassar decisões do agente de planejamento para os módulos do softphone encarregados de aplicar as mudanças, o agente de execução deverá tratar autonomamente os casos de exceção.

1.g) Integração dos agentes

A Figura 3 esboça a interação entre os agentes responsáveis por implementar as etapas do ciclo de gerenciamento adaptativo e como eles se distribuem no terminais emissor e receptor de uma comunicação VoIP.

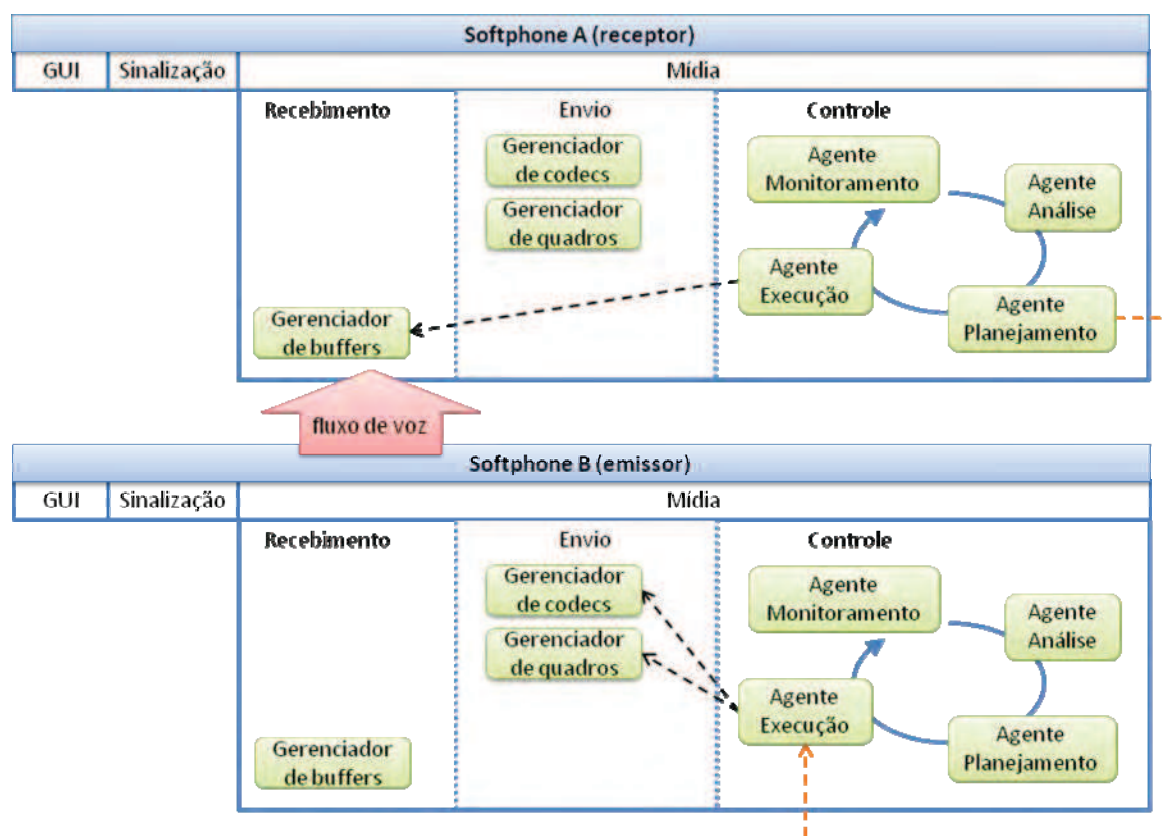


Figura 3 - Interação entre os agentes do ciclo de gerenciamento adaptativo e terminais emissor/receptor.

2.a) Definição do cenário de avaliação

Basicamente, o cenário de avaliação consistirá de dois softphones e um software de inserção de erros para emular os problemas na rede de dados.

O tráfego de voz será gerado conforme a Recomendação ITU-T P.59 (ITU-T, 1993). Ela modela uma conversação típica utilizando uma máquina de quatro estados, os quais representam fala do usuário A, fala do usuário B, fala mútua e silêncio mútuo. Para atender a P.59, uma chamada assim modelada deve ter a duração mínima de 10 minutos.

2.b) Avaliação de desempenho do mecanismo de adaptação

Sob diversas composições de codec, taxa de perdas de pacote na rede e atraso na rede, deve-se verificar os seguintes parâmetros:

- Consumo de largura de banda. Para que a solução proposta seja satisfatória, a troca de mensagens decorrente da implementação do ciclo autônomo não deve elevar significativamente o consumo de largura de banda.
- Qualidade da chamada. Comparando-se o desempenho de chamadas realizadas com e sem o agente autônomo, o ganho de qualidade (medida pelo Modelo E) deverá pelo menos exceder o erro experimental, a fim de validar a solução.
- Tempo de resposta do ciclo de gerenciamento autônomo. Estudos relatados em (CLARK, 2001) indicam que o tempo médio que um usuário típico leva para perceber que a qualidade de uma chamada caiu de “bom” para “ruim” é de cinco segundos. Portanto, este é um limite que se deve adotar inicialmente como tempo de resposta máximo que o ciclo de gerenciamento autônomo pode levar para recuperar a qualidade da chamada.

Referências

BELLIFEMINE, F. L.; CAIRE, G.; GREENWOOD, D. **Developing Multi-Agent Systems with JADE**. John Wiley & Sons, 2007.

BEZERRA, T. B.; CARVALHO, L. S.; MOTA, E. D. Avaliação da Qualidade de Codecs de Código Aberto para Transmissão VoIP. In: V Workshop de Trabalhos de Iniciação Científica (WebMedia 2008). **Anais...**. Vila Velha, ES, 2008.

BINZENHÖFER, A.; SCHLOSSER, D.; TUTSCHKU, K.; FIEDLER, M. An Autonomic Approach to Verify End-to-End Communication Quality. In: 10th IFIP-IEEE International Symposium on Integrated Network Management. **Anais...**. p.817-820. Munich, Germany, 2007.

BRAGA, T. R.; SILVA, F. A.; RUIZ, L. B.; ASSUNÇÃO, H. P. Redes Autônomicas. In: **Minicurso Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (XXIV SBRC)**. Curitiba: SBC, 2006.

BRATAAS, G. Requirements of Methods for Testing, Tuning and Validation of Self-Adaptive Systems. **Test**. Retrieved from <http://www.ist-music.eu/MUSIC/docs/D3.1.pdf>, 2007.

CARVALHO, L.; MOTA, E.; AGUIAR, R.; ET AL. An E-Model Implementation for Speech Quality Evaluation in VoIP Systems. In: 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'05). **Anais...**. p.933-938. IEEE, 2005.

CLARK, A. Modeling the effects of burst packet loss and recency on subjective voice quality. in **Proc. IP Telephony Workshop, Mar**, 2001.

COSTA, N.; NUNES, M. S. Dynamic Adaptation of Quality of Service for VoIP Communications. **International Journal On Advances in Networks and Services**, v. 2, n. 2-3, p. 155-166, 2009.

DOBSON, S.; DENAZIS, S.; FERNANDEZ, A.; ET AL. A Survey of Autonomic Communications. **ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems**, v. 1, n. 2, p. 223-259, 2006.

FALK, T. H.; CHAN, W. Hybrid Signal-and-Link-Parametric Speech Quality Measurement for VoIP Communications. **IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing**, v. 16, n. 8, p. 1579-1589, 2008.

FRIEDMAN, T.; CACERES, R.; CLARK, A. D. RTP Control Protocol Extended Reports (RTCP XR). , 2003.

GENEIATAKIS, D.; LAMBRINOUDAKIS, C.; KAMBOURAKIS, G. An ontology-based policy for deploying secure SIP-based VoIP services. **Computers & Security**, v. 27, n. 7-8, p. 285-297, 2008.

GIL, A. M.; CARVALHO, L. S. RTCP XR. **Grupo de Redes de Computadores e Multimídia (GRCM-UFAM)**. Retrieved from http://grcm.dcc.ufam.edu.br/index.php/RTCP_VoIP, 2008.

H.323 PLUS PROJECT. The Standard in Open Source H.323. . Retrieved from <http://www.h323plus.org/>, 2010.

ITU-T. **Recommendation P.59. Artificial conversational speech**. Genève, 1993.

ITU-T. **Recommendation P.862. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs**. Genève, 2001.

ITU-T. **Recommendation G.107. The E-model, a computational model for use in transmission planning**. Genève, 2005.

ITU-T. **Recommendation P.800.1. Mean Opinion Score (MOS) terminology**. Genève, 2006.

KARAPANTAZIS, S.; PAVLIDOU, F. VoIP: A comprehensive survey on a promising technology. **Computer Networks**, v. 53, p. 2050-2090, 2009.

MANOUSOS, M.; APOSTOLACOS, S.; GRAMMATIKAKIS, I.; ET AL. Voice-Quality Monitoring and Control for VoIP. **IEEE Internet Computing**, v. 9, n. 4, p. 35-42, 2005.

MORAITIS, P.; SPANOUDAKIS, N. The Gaia2Jade Process for Multi-Agent Systems Development. **Applied Artificial Intelligence**, v. 20, n. 2-4, p. 251-273, 2006.

MYAKOTNYKH, E. S.; THOMPSON, R. A. Adaptive Rate Voice over IP Quality Management Algorithm. **International Journal on Advances in Telecommunications**, v. 2, n. 2, p. 98-110, 2009.

PFEIFFENBERGER, T.; FICHTTEL, T.; KWITT, R.; HOFMANN, U. A new Agent-Based Approach towards Distributed IP Measurements. In: International Conference on Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies. **Anais...** . p.52. IEEE Computer Society, 2006.

PRUDÊNCIO, A. C.; WILLRICH, R.; DIAZ, M.; TAZI, S. Quality of Service Specifications: A Semantic Approach. In: Eighth IEEE International Symposium on Network Computing and Applications. **Anais...** . p.219-226, 2009.

QIAO, Z.; SUN, L.; HEILEMANN, N.; IFEACHOR, E. C. A new method for VoIP quality of service control use combined adaptive sender rate and priority marking. In: IEEE International Conference on Communications. **Anais...** . p.1473-1477. IEEE, 2004.

QUITADAMO, R.; ZAMBONELLI, F. Autonomic communication services: a new challenge for software agents. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, v. 17, n. 3, p. 457-475, 2008.

REIS, L. P. Coordenação em Sistemas Multi-Agente: Aplicações na Gestão Universitária e Futebol Robótico. , 2003.

RIX, A. W.; BEERENDS, J. G.; HOLLIER, M. P.; HEKSTRA, A. P. PESQ - the new ITU Standard for End-to-end Speech Quality Assessment. In: 109th Audio Engineering Society Convention. **Anais...** . p.1-18. Los Angeles, 2000.

SHANKAR, S.; SINGH, V. K.; SRINIVAS, M. Distributed Agent Architecture to Measure Availability of IP Telephony Services. In: **Anais...** . Retrieved from http://www1.cs.columbia.edu/~vs2140/papers/distributed_ip_tel.pdf, 2008.

SKOMERŠIĆ, M.; PARAT, N. Interoperability of open-source VoIP and multi-agent systems. In: 33rd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics. **Anais...** , 2008.

TAKAHASHI, A.; YOSHINO, H.; KITAWAKI, N. Perceptual QoS assessment technologies for VoIP. **IEEE Communications Magazine**, v. 42, n. 7, p. 28-34, 2004.

VALLE, R. F.; CARVALHO, L. S.; AGUIAR, R. B.; MOTA, E. S. Estudo Comparativo do Impacto de Algoritmos de Compensação de Jitter sobre a Qualidade da Fala. In: I Escola Regional de Informática – Regional Norte 1 (ERIN). **Anais...** . Manaus, AM, 2009.

VIANNA, B. D.; MOURA, N. T.; DE ALBUQUERQUE, C. V.; REBELLO, V. E.; BOERES, C. adaMOS: Algoritmo MOS-Adaptativo para Fontes VoIP. In: XII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WebMedia 2006). **Anais...** . p.223-232. Natal, RN, 2006.

WAH, B. W.; SAT, B. The Design of VoIP Systems With High Perceptual Conversational Quality. **Journal of Multimedia**, v. 4, n. 2, p. 49-62, 2009.

WOOLDRIDGE, M. **An Introduction To Multiagent Systems**. 2nd ed., p.484. Chichester, England: John Wiley & Sons, 2009.

ZAMBONELLI, F.; JENNINGS, N. R.; WOOLDRIDGE, M. Developing Multiagent Systems : The Gaia Methodology. **ACM Transactions on Software Engineering Methodology**, v. 12, n. 3, p. 317-370, 2003.