

Qualidade de serviço em centrais VoIP sobre Linux embarcado

Daniel Bristot de Oliveira¹, Ramicés dos Santos Silva¹

¹Ciência da Computação – UNIVALI - Universidade do vale do Itajaí
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

Abstract. *The Linux operating system become used in many projects of telecommunication devices, it's by the support to many hardware architecture and a complete network stack, where highlight the support to quality of service, that are fundamental to VoIP technologies. But the effects of utilization of the QoS technologies in embedded devices can damage the performance of the system by require more one layer of network control. This study sought to determine, using 2^k r methodology of design of experiments, the effects of the use of techniques of QoS in VoIP in an embedded system and serve as an aid in the process of deciding which techniques to use in an embedded system design.*

Resumo. *O Linux vem sendo utilizado em diversos projetos de equipamentos de telecomunicações, tanto pelo seu suporte à diversas plataformas de hardware quanto pela sua completa pilha de rede, onde pode-se destacar os protocolos de qualidade de serviço, quais são de fundamental importância para o projeto de dispositivos compatível com os protocolos de VoIP. Porém a utilização destes protocolos de QoS em dispositivos embarcados pode afetar o desempenho do sistema pois a sua utilização requer uma maior camada de controle no fluxo de rede. Este trabalho busca avaliar, utilizando a metodologia 2^k r de projetos de experimentos, os efeitos da utilização das técnicas de QoS em tráfego de VoIP em um sistema embarcado e servir de auxílio no processo de decisão de quais técnicas utilizar em um projeto de sistema embarcado.*

1. Introdução

VoIP é o nome dado ao conjunto das tecnologias que permitem a transmissão voz humana utilizando redes de comutação de pacotes, como é o caso da Internet. Um dos fatores de sucesso desta tecnologia é se dá pelas diversas vantagens sobre as tecnologias convencionais de transmissão de voz, como: integração de voz e dados, vídeo chamadas, centrais de atendimento baseadas em Web, entre outras não possíveis no sistema convencional de telefonia [Bai e Ito, 2006]. Além das vantagens tecnológicas a utilização desta tecnologia pode gerar economia de custos com ligações telefônicas, pois o volume de largura de banda exigido por uma ligação VoIP é pequeno e pelo fato da conta de telefone de um consumidor médio ser muito maior que a sua conta de internet [Tanenbaum,2003].

Como as redes de comutação de pacotes foram concebidas de uma forma diferente das redes comutação de circuitos, principalmente no que diz respeito a alocação de recursos, a garantia de qualidade de serviço é um dos problemas chave para as tecnologias VoIP, pois sem nenhum mecanismo de controle a qualidade de uma chamada VoIP pode variar de acordo com a disponibilidade de recursos da rede, diminuindo assim a qualidade do sinal de voz no receptor [Wallingford,2005].

A deficiência de qualidade de serviço em redes de comutação de pacotes fez com que diversos padrões e técnicas de qualidade de serviço fossem desenvolvidas para tentar garantir a reserva mínima de recursos para tráfego de tempo real, como o VoIP, nestas redes. Com estes protocolos é possível classificar o tráfego de rede a partir de suas características e, com isso, proporcionar um tratamento diferenciado para os tipos de tráfego, pode-se por exemplo, garantir menor tempo nas filas de espera em roteadores para tráfegos de tempo real ou garantir certa largura de banda a um protocolo de transmissão de dados.

Apesar do desenvolvimento de diversos protocolos de qualidade de serviço para redes de comutação de pacotes, atualmente, apenas um pequeno sub-conjunto destes estão sendo utilizados na maioria dos equipamentos de telecomunicações, como: (1) os padrões 802.1p, 802.1q, que implementam o conceito de redes locais virtuais (VLAN) e possibilitam a marcação de diferentes prioridades para estas redes virtuais; (2) os padrões ToS e DiffServ, que são padrões que compõem o cabeçalho IP do protocolo TCP/IP que possibilitam classificar o tráfego em diversas categorias para que eles tenham tratamento diferenciado em roteadores; (3) e as técnicas de modelagem de tráfego, que possibilitam aos roteadores modelar o tráfego de forma a garantir recursos mínimos e máximos para os fluxos de dados que passam por este.

Estes protocolos estão disponíveis no sistema operacional Linux qual vem sendo utilizado como plataforma de software para o desenvolvimento de sistemas embarcados por muitas empresas de telecomunicações, principalmente para equipamentos que operam em rede como roteadores, telefones celulares e centrais telefônicas IP [Hallinan, 2006]. Entre os motivos para esta escolha estão o suporte à diversas arquiteturas de hardware como ARM, BlackFin, MIPS, PPC, etc, frequentemente utilizadas em projetos de sistemas embarcados e pelo robusto suporte a protocolos de rede.

Estes padrões e técnicas de qualidade de serviço são implementadas no kernel do Linux e atuam efetuando alterações nos fluxos de rede. Apesar destas técnicas e padrões trazerem benefícios ao tráfego de rede, não sabe-se ao certo qual o efeito colateral da utilização destes protocolos em um ambiente computacional com baixo poder de processamento, como um sistema embarcado, onde a utilização de uma destas técnicas ou a combinação de uso destas pode afetar o uso de recursos do sistema.

Este artigo é um estudo sobre qualidade de serviço em VoIP e das técnicas de qualidade de serviço disponíveis no Linux comumente utilizadas no desenvolvimento de equipamentos de telecomunicações, como centrais IP, ATAs e terminais que utilizam este sistema operacional. A partir deste estudo foram feitos experimentos da utilização destas técnicas que QoS em ambiente embarcado e obteve-se resultados de ganho de qualidade de serviço e de utilização de recursos destes. Para dar maior confiança aos dados, utilizou-se a metodologia $2^k r$ de projetos de experimentos a partir do qual poderá se definir o percentual de contribuição de cada padrão de qualidade de serviço ao tráfego de voz sobre IP.

Este artigo está dividido em cinco sessões, a primeira define quais são os fatores que influenciam na qualidade de serviço do tráfego de voz sobre ip, a segunda demonstra as técnicas de qualidade de serviço comumente utilizadas em equipamentos de Voz sobre IP, a terceira seção descreve sobre as implementações das técnicas no Linux, a quarta sobre os experimentos a serem executados para obtenção dos resultados, e por fim

os resultados preliminares obtidos durante a execução dos experimentos.

2. Qualidade de serviço em VoIP

A qualidade de serviço em redes de computadores é definida pelos requisitos de confiabilidade, retardo, flutuação e largura de banda que um fluxo de pacotes precisa para ser transmitido via uma rede da origem até o destino de forma que satisfaçam a experiência do usuário [Kurose e Ross, 2006]. Segundo [Tanenbaum,2003], [Bai e Ito,2006] e [Zhao, *at al*,2002]. São quatro os fatores que influenciam na qualidade de serviço de tráfego de voz sobre IP:(1) banda; (2) delay; (3) jitter; (4) perda de pacotes.

O tráfego VoIP se caracteriza por ser bastante sensível ao *delay* e ao *jitter*, e pouco sensível a largura de banda, visto que uma ligação VoIP normalmente exige menor largura de banda que protocolos de transferência de dados; e pouco sensível a perda, visto que existem técnicas que possibilitam compensação da perda de pacotes [Tanenbaum,2003]. Além disso, para cada um dos fatores citados existem níveis quantitativos que definem a qualidade de serviço, estes fatores e seus valores aceitáveis são:

2.1. Largura de banda

Cada chamada VoIP precisa de uma quantidade mínima de banda disponível, caso esta banda não esteja disponível, os pacotes irão ou sofrer atraso de envio ou serão descartados [Kurose e Ross, 2006] assim prejudicando a qualidade da chamada. A quantidade de banda necessária para uma ligação VoIP irá depender do *Codec* utilizado para a codificação da voz em sinais digitais, a Tabela 1 exibe a quantidade de banda exigida pelos *codecs* de voz comumente utilizados:

Tabela 1. Consumo de banda codecs

Codec	Largura de banda
G.711	64 Kbps
G.729e	11.8 Kbps
G.723.1	6.3 Kbps
GSM	13 Kbps

2.2. Atraso fim-a-fim

O atraso fim-a-fim ou *delay*, que representa o tempo que um pacote leva para sair do emissor, trafegar pela rede e chegar ao receptor. É causado pelos de tempos de: processamento, de transmissão, de formação de filas nos roteadores, de propagação nos enlaces e de processamento nos sistemas finais que um pacote pode sofrer durante o percurso entre a sua origem e destino[Kurose e Ross, 2006]. A recomendação G.114 da ITU-T define os seguintes tempos limites de atraso fim-a-fim para conexões com adequado controle de eco [GOODE,2002] (1)0 ms a 150 ms: aceitável para a maioria das aplicações de usuários; (2) 150 ms a 400 ms: aceitável para conexões internacionais; e (3) maior que 400 ms: inaceitável para uso normal, porém, é reconhecido que em alguns casos excepcionais este limite será excedido.

Contudo na internet o *delay* não é um valor fixo e geralmente varia durante o tempo. Tal variação é denominada flutuação do atraso ou *jitter*, que são os atrasos

aleatórios sofridos por um pacote durante a sua transmissão. Isto faz com que a frequência de chegada de pacotes no destinatário oscile durante o tempo, assim causando danos a comunicação. Esta variação pode ser normalizada pela utilização de um *buffer* de *jitter*, que armazena os pacotes em um *buffer* e o disponibiliza na frequência em eles deveriam ser entregues, porém o tempo em que os pacotes permanecem neste *buffer* aumenta o *delay* da entrega de pacotes, assim agravando o fator de *delay*. Segundo o DSL Forum [2006] o valor máximo de *jitter* aceitável é de 50ms, porém, este valor é facilmente ultrapassado pelas tecnologias atuais de transmissão de pacotes, então, busca-se com as técnicas de qualidade de serviço diminuir ao máximo o fator da variação de atraso.

2.3. Perda de pacotes

A perda de pacotes durante o caminho entre o emissor e o receptor, que pode ocorrer por falhas no meio de transmissão, pelo descarte de um pacote em um *buffer* cheio de um roteador é um dos fatores de qualidade de serviço para transmissão de voz que segundo [Bai e Ito, 2006] as taxas de perdas aceitáveis para alguns codecs de voz são:

Tabela 2. Taxas de perda aceitáveis

Codec	Voz em alta qualidade	Voz de baixa qualidade
G.711	0.5%	1.0%
G.729	0,00%	2.1%
G.723.1	0,00%	1.0%
GSM	N/D	2.0%

Para atingir estas metas de qualidade de serviço exigidas pelos protocolos de tempo real algumas técnicas e padrões de qualidade de serviço foram desenvolvidas, porém, apesar do grande número de padrões desenvolvidos, após uma pesquisa em equipamentos de mercado, observou-se que apenas um pequeno conjunto destes protocolos é, atualmente, utilizado por fabricantes de equipamentos de telecomunicações, estes padrões mais utilizados e uma breve descrição será feita na Sessão III.

3. padrões de QoS

O padrão IEEE 802.1p, também conhecido como *VLAN Tagging* possibilita a criação de redes *Ethernet* virtuais sobre uma única rede *Ethernet* física, com isto é possível segmentar o tráfego de uma rede em diversas redes locais virtuais. Este padrão vem sendo utilizado para separação do tráfego de dados do tráfego de voz em uma rede física por segmentá-la em rede de voz e rede de dados. Este padrão também possibilita a atribuição de sete possíveis prioridades aos frames *Ethernet*, estas prioridades foram definidas no padrão 802.1p, que define os seguintes atributos de qualidade de serviço para cada nível de prioridade [IEEE, 2006]:

Como o 802.1p e 802.1q são de camada de enlace, outros padrões como o ToS (*Type of Service* - Tipo de serviço) e DiffServ que atuam no cabeçalho IP do protocolo TCP/IP que é transmitido desde a origem até o destino. O cabeçalho IP possui um campo de 8 bits denominado ToS qual era utilizado pelo padrão ToS definido na RFC 1349. Este padrão utilizava 3 bits deste campo e possibilitava a configuração de 8 categorias de qualidade de serviço, porém este foi substituído pelo padrão de serviços diferenciados (Diff-Serv) qual utiliza 6 bits do campo ToS [RFC2474, 1998], possibilitando a configuração de

Tabela 3. Prioridades IEEE 802.1q

Prioridade	Tráfego
7 (Maior prioridade)	Gerenciamento de rede
6	Voz
5	Vídeo
4	Carga controlada
3	Excelente esforço
0	Melhor esforço
2	Não definido
1 (Menor prioridade)	Background

64 categorias de qualidade de serviço assim dando maior flexibilidade na administração dos recursos de rede.

Os padrões 802.1p, 802.1q, ToS e DiffServ possibilitam a marcação de um *frame* Ethernet ou de um pacote IP, estas marcações serão utilizadas por computadores ou roteadores de rede para dar aos fluxos de dados as suas garantias de qualidade de serviço. Esta garantia de qualidade de serviço pode ser feita de duas formas: reservando recursos de largura de banda mínima ou máxima; priorizando o envio de um pacote de uma categoria; a esta técnica é dado o nome de Modelagem de tráfego ou *Traffic Shapping*.

Para [Zhao, *at al*,2002] um modelador de tráfego atua classificando o tráfego de rede a partir de uma marcação de QoS ou informações de conexão como: número de portas; endereços; protocolos; e enfileirando o tráfego em filas de prioridade de acordo com suas características, nestas filas um medidor de tráfego irá medir as propriedades temporárias de um fluxo como a banda consumida no último segundo e a quanto tempo o último pacote deste fluxo foi enviado, etc. A partir desta informação o modelador tomará uma decisão que pode ser: enviar os pacotes de uma fila, segurar os pacotes por mais tempo na fila diminuindo assim a banda consumida por um fluxo, enviar somente os pacotes de uma fila de alta prioridade, descartar pacotes, assim gerenciando a distribuição dos recursos de rede de acordo com regras pré estabelecidas.

Dos padrões e técnicas de QoS apresentados neste trabalho todos estão disponíveis para utilização no Linux. A próxima sessão descreve brevemente como estes padrões são implementados e quais as ferramentas necessárias para o seu uso.

4. QoS no Linux

As técnicas de QoS apresentadas são implementadas pelo kernel do Linux, mas gerenciadas a partir de aplicações em nível de usuário.

Os padrões 802.1p e 802.1q são implementadas no kernel do Linux como uma interface de rede virtual associada a uma interface física de rede. Quando um frame chega interface real, ele é analisado e caso contenha o cabeçalho de VLAN o tráfego é direcionado a interface virtual que possui o mesmo identificador de VLAN que o pacote. Esta interface virtual se comporta como uma interface real para o sistema, possui um endereço de IP, tabela MAC, informações de roteamento e também é possível configurar um *Firewall*. Além de receber o tráfego de uma VLAN esta interface também é responsável por

efetuar a marcação 802.1q.

Os padrões ToS e DiffServ podem ser configurados utilizando o Netfilter, que é um sistema de filtragem e manipulação de pacotes do kernel do Linux. O netfilter é bastante conhecido por atuar como o *Firewall* do Linux, porém com ele é possível criar regras de manipulação de pacotes como alterar os valores do campo TOS do cabeçalho IP. Estas alterações são feitas utilizando a tabela *mangle* do netfilter, nesta tabela de regras é possível classificar um pacote ou fluxo de dados a partir de informações como porta de origem, porta de destino, endereço de origem e de destino, protocolo, etc, e a partir disto executar diversas alterações no pacote, como alterar a marcação TOS ou DSCP que um determinado pacote ou fluxo vai ter [Netfilter, 2009].

Além das estratégias de marcação de pacotes, no kernel do Linux também é implementado um framework de condicionamento de tráfego, neste sub-sistema é possível configurar disciplinas de enfileiramento de pacotes onde pode-se classificar e enfileirar os pacotes de rede em um *buffer* de acordo com suas características, como marcação ToS, DSCP, 802.1p e 802.1q e assim diferenciar o tráfego e garantir os critérios de qualidade de serviço, por exemplo, para uma classe de pacotes é possível garantir reserva de largura de banda mínima e máxima e também garantir a priorização deste fluxo sobre outro.

Como a maioria dos sub-sistemas do kernel do Linux, o suporte aos padrões de qualidade de serviço podem ser habilitados e desabilitados durante a compilação do kernel ou, caso sejam compilados como módulos, ser habilitados durante a execução.

Com a utilização das técnicas de qualidade de serviço espera-se um ganho de qualidade em ligações VoIP, isto por garantir que os fatores que influenciam na qualidade de uma ligação permaneçam dentro dos padrões aceitos, porém, como estas técnicas são partes de software do sistema operacional a sua utilização consome recursos como CPU e memória do dispositivo que estas estão executando, quais em um sistema embarcado estão disponíveis em menor quantidade que em computadores pessoais e servidores quais são as plataformas onde comumente o linux é utilizado, por isto, além da implantação das técnicas de QoS no linux, em sistemas embarcados também se faz necessário a execução de experimentos para analisar os efeitos que a utilização destas técnicas, como maior consumo de CPU, consumo de memória, vazão da interface de rede, etc.

5. Experimentos

Para avaliar os efeitos da utilização das técnicas de qualidade de serviço em VoIP no em Linux, utilizou-se a abordagem de projetos de experimentos $2^k r$. com esta metodologia é possível definir qual o grau de influência de cada fator, isto é, o grau de influência de cada técnica de qualidade de serviço nas variáveis de resposta de cada experimento.

Os experimentos serão executados em um ambiente controlado composto por: um computador pc e um sistema embarcado ambos interligados via um *switch* gerenciável. Ambos computadores fo executando o sistema operacional Linux, no kit de desenvolvimento irá executar uma servidor de uma ferramenta de *benchmark* que simulará uma conexão VoIP e colherá estatísticas, e no computador PC executará a aplicação cliente da ferramenta de *benchmark*, além da ferramenta de *benchmark* utilizar-se-á uma outra ferramenta que trocará pacotes entre o kit e o PC a fim de gerar concorrência com o tráfego VoIP.

Neste ambiente serão configuradas as técnicas de QoS e executados experimentos, sempre priorizando o tráfego que simula conexões VoIP sobre o outro tráfego gerado.

Para poder calcular a influencia de cada técnica serão executados experimentos com todas as possíveis combinações de fatores, sendo os fatores: (1) QoS em camada 2; (2) QoS em camada 3; (3) *Traffic Shapping* e (4) Priorização.

Para cada combinação de fatores foi gerado um kernel do Linux com somente as opções de qualidade de serviço utilizadas no experimento habilitadas e cada experimento foi executado 40 vezes para poder-se calcular o porcentagem do erro experimental de cada experimento e a cada execução o ambiente completo foi reinicializado.

As variáveis de resposta de cada experimentos são: *jitter*, perda e a utilização de CPU do sistema embarcado. Apesar do *delay* e da largura de banda também serem variáveis de resposta de qualidade de serviço estas, em um ambiente controlado, variam apenas quando há a variação do *jitter* e da perda.

6. Resultados

Na análise dos resultados apenas os fatores que significantes foram analisados, isto é, os fatores que apresentam influência duas vezes maior que o erro experimental.

Em todas as métricas apenas a utilização do *Traffic Shapping* apresentou dados relevantes, sendo 99,36% de contribuição para o Jitter, 99,85% para a perda e 96.23% para o consumo de CPU, onde cada métrica apresentou uma taxa de erro de 0,61%, 1,14% e 2.48% respectivamente.

Para o jitter a técnica de *Traffic Shapping* é responsável por 99.36% da contribuição, com uma margem de erro de 0,61%, da utilização das técnicas de qualidade de serviço no ambiente experimental utilizado. Isto porque com o condicionamento do tráfego evita-se o enfileiramento de tráfego no switch e a utilização do do algoritmo de limitação de banda, que atua quando a largura de banda emitida pelo sistema embarcado é maior que a permitida pela switch, que aumentanda o tempo de espera nas filas de transmissão e como consequência aumentando o jitter do tráfego VoIP. Porém, quando o sistema de traffic shapping no sistema embarcado condiciona o tráfego limitando-o a uma taxa de envio de pacotes menor ou igual a do switch o algoritmo de enfileiramento e limitação de banda do switch não atua, assim mantendo o jitter a níveis bastante baixos.

Para a perda de pacotes técnica de *Traffic Shapping* também foi a única que contribuiu com a métrica, sendo responsável por 99,85%, com uma taxa de erro de 1,14%, da margem de contribuição, isto reforça ainda mais a necessidade da modelagem de tráfego para evitar que a limitação de banda do switch entre em ação. Isto porque, como o protocolo UDP não detecta o congestionamento do link, como o TCP que diminui a taxa de transmissão, o único modo de diminuir a velocidade de uma conexão UDP é descartando os pacotes. Assim pode-se afirmar, com base nestas duas métricas de qualidade de serviço que a modelagem de tráfego, para garantir que o sistema embarcado não emita datagramas a uma taxa maior ou igual ao link e que o tráfego VoIP receba os recursos de largura de banda necessários, é o fator mais importante para a qualidade de serviço VoIP.

Como nas demais análises somente o *Traffic Shapping* foi um fator relevante para a métrica de CPU, isto porque, diferentemente dos demais padrões que apenas alteram um campo no datagrama *Etherner* ou IP, o *Traffic Shapping* atua tanto com o gerencia-

mento de filas de entrega de pacotes quanto com informações estatísticas temporais sobre o tráfego que está sendo gerenciado. Em média o uso de CPU sem a utilização do traffic shapping ficou em 5,06% de uso de CPU, já com o traffic shapping em 6,26%, aumentando assim o consumo de CPU em apenas 1,2%. As demais técnicas não apresentaram consumo de CPU relevantes nos experimento.

7. Conclusão

Após a análise dos fatores, pode-se definir que a utilização da técnica de *Traffic Shapping* para garantir que o sistema embarcado condicione o envio de datagramas a uma taxa menor ou igual ao limite do link de dados e que do total da banda o tráfego tenha VoIP banda garantida é a melhor opção entre as técnicas de qualidade de serviço para VoIP, o que por fim é a mesma garantia que a PSTN possui, banda garantida para o tráfego de Voz.

Porém apesar de não terem apresentado efeitos sobre o tráfego VoIP a não rerepresentação de consumo de CPU pelos padrões de camada 2 e 3 também viabilizam a sua utilização por simplificar o gerenciamento de rede.

Para o sistema embarcado de exemplo, o consumo de 1,2% a mais de CPU pela utilização dos padrões e técnicas de qualidade de serviço justifica a sua utilização pelo considerável ganho em qualidade de serviço.

8. Referencias

BAI, Y.; ITO, M,R; **A Study for Providing Better Quality of Service to VoIP Users**. In: 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2006, Viena,Proceedings.... Viena, 2006.

IEEE, **IEEE Standard for Local and metropolitan area networks**: Virtual Bridged Local Area Networks. New York: IEEE Computer Society, 2006.

IETF, RFC1349: **Type of Service in the Internet Protocol Suite**. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1349.txt>, 1992.

IETF, RFC2474: **Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers**. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2474.txt>, 1998.

GOODE, Burr; **Voice Over Internet Protocol (VoIP)**. IEEE VOL. 90 NO. 9, 2002, [S.l.]. Proceedings.... [S.l.], 2002.

HALLINAN, Christopher. **Embedded Linux Primer: A Practical, Real-World Approach**. Crawfordsville: Prentice Hall , 2006.

NETFILTER, **Netfilter/Iptables project home**. Disponível em: <http://www.netfilter.org/>. Acessado em 11 de março de 2009.

WALLINGFORD, Theodore. **Switching to VoIP**. Sebastopol: O'Reilly, 2005.

KUROSE, James F; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a internet**. São Paulo: Addison-Wesley, 2006.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. Rio de Janeiro: Campus, 2003.