

Estudo do desempenho de VoIP na presença de tráfego *best-effort*

Vasco Pereira, Edmundo Monteiro, Fernando Barros

Departamento de Engenharia Informática
da Universidade de Coimbra
{vasco, edmundo, barros}@dei.uc.pt

Resumo

O VoIP (*Voice over Internet Protocol*) tem assumido uma importância crescente no mercado de telecomunicações. Ao usar a Internet como meio de transmissão da voz, o VoIP permite uma redução de custos significativa, ligando quaisquer dois pontos que lhe tenham acesso. No entanto, um serviço de voz requer restrições especiais de modo a ser obtida uma comunicação que satisfaça as exigências de Qualidade de Serviço dos interlocutores. Neste artigo explicam-se os conceitos básicos da VoIP e realizam-se alguns testes num ambiente de simulação simplificado, usando tráfego *best-effort* e o *User Datagram Protocol* (UDP), para determinar a performance de uma transmissão genérica de VoIP. São analisados os efeitos da utilização de uma rede com classes de prioridades distintas e o efeito de alguns parâmetros sobre a transmissão – latência, *jitter*, perda de pacotes, tamanho dos *buffers*.

Palavras chave

Voz sobre IP (VoIP), Internet, Qualidade de Serviço (QoS), Simulação

1. Introdução

A tecnologia VoIP (*Voice over Internet Protocol*) tem tido uma importância crescente ao longo dos últimos anos. Um sinal claro desta importância é o destaque crescente dado a esta tecnologia quer pelos reguladores do mercado de telecomunicações, quer pelos operadores tradicionais. Inicialmente contra a proliferação do VoIP e exigindo restrições ao seu uso, os operadores tradicionais vêm agora juntar-se às empresas que já comercializam estes serviços e evitar perder uma fatia de mercado em grande expansão. Estima-se que o mercado da VoIP aumente de um valor de 46 milhões de dólares em 2001 para cerca de 36,5 biliões em 2007 [Cork04]. Neste momento, segundo a Goldman Sachs referida em [Cork04], existem indicadores chave que poderão levar à adopção em massa desta tecnologia, sendo os principais a existência de um mercado pouco explorado, uma avaliação positiva por parte dos consumidores e, a existência de um processo de standardização. De acordo com estes critérios, o ano de 2004 tem todos os requisitos necessários para poder ser o ano de adopção em grande escala desta “nova” tecnologia.

Actualmente, já várias companhias apostam no VoIP. Os serviços disponibilizados permitem a ligação entre quaisquer dois utilizadores ligados à Internet, usando computadores pessoais (ex.: Skype – www.skype.com), ou mesmo ligando utilizadores pertencentes a qualquer rede de comunicações (ex.: Vonage – www.vonage.com, FreeWorld – www.freeworldialup.com). Neste segundo caso, um utilizador pode ligar, por exemplo, de uma rede fixa dos Estados Unidos para uma rede celular em Portugal, a custos irrisórios quando comparados com os custos normais de uma chamada deste tipo.

Existem, no entanto, algumas limitações à generalização de serviços VoIP, sendo a mais importante a dificuldade de fazer coexistir numa mesma infra-estrutura tráfego de aplicações VoIP com tráfego normal de dados, normalmente designado por tráfego *best-effort*.

Neste trabalho pretende-se avaliar o comportamento do VoIP na presença de tráfego *best-effort*. Para tal foi criado um ambiente de simulação com tráfego de dados IP (*Internet Protocol*), correspondente ao tráfego geral e tráfego VoIP, de modo a caracterizar o comportamento e problemas do VoIP na presença daquele tráfego, em situações de congestão. A avaliação realizada

não pretendeu ser exaustiva nem simular detalhadamente um ambiente Internet. O objectivo foi destacar os parâmetros principais que condicionam a transmissão de voz numa rede IP genérica e perceber de que forma é que contribuem para a qualidade do serviço (QoS) de aplicações de voz sobre IP.

Neste artigo começa-se por dar uma visão geral sobre a tecnologia VoIP e enunciar os parâmetros que afectam a qualidade das ligações, e consequentemente a sua qualidade de serviço, bem como referir algumas configurações e topologias para VoIP (Secção 2). De seguida, será feita a caracterização do tráfego a simular, a descrição do ambiente de testes utilizado, e do simulador usado (Secção 3). No fim serão apresentados os testes realizados com os seus resultados (Secção 4), e as conclusões obtidas por este estudo (Secção 5).

2. Voz sobre IP

Cada vez mais a tecnologia VoIP suscita o interesse da indústria de comunicações. Este facto resulta de vários factores dos quais podem ser destacados os seguintes [Black00]: o modelo de negócio, a presença universal do IP, a maturação de tecnologias, a migração geral para redes de dados.

O modelo de negócio que justifica a adopção da VoIP é baseado na cada vez maior integração entre voz e dados, requisito essencial às aplicações multimédia do futuro. Ao mesmo tempo, existirá um melhor aproveitamento da largura de banda disponível. Se considerarmos que numa conversa de telefone normal 50% é silêncio e, que cerca de 20% é constituída por padrões repetitivos que podem ser eliminados através de algoritmos de compressão, é fácil concluir que o estabelecimento de um circuito ponto-a-ponto, normalmente com uma largura de banda de cerca de 64Kb/s é muito ineficiente.

O facto de se poder usar o IP de uma forma abrangente, desde o equipamento do utilizador até ao equipamento de rede, tem a vantagem de uniformizar as redes com um baixo custo, além de poder usar uma enorme base já instalada.

A maturação das tecnologias necessárias para o arranque da VoIP é também um dos factores que impulsiona o seu desenvolvimento. Os processadores digitais de sinal são hoje usados em larga escala oferecendo elevados níveis de desempenho. Também o IP tem, neste momento, provas dadas como tecnologia base da Internet.

Finalmente, o facto de a maioria das redes estar a passar do estabelecimento de circuitos para pacotes de dados, ajuda a justificar o interesse na VoIP.

2.1. Parâmetros que afectam a QoS da VoIP

Nas ligações telefónicas tradicionais, para cada chamada era estabelecido um circuito a ligar os dois extremos da ligação, o qual tinha uma largura de banda fixa. No entanto, esta solução implicava um desperdício enorme da rede pois a largura de banda afecta a cada canal não era eficientemente utilizada, correspondendo a uma capacidade de pico. A VoIP, pelo contrário, partilha o canal de comunicação com outras aplicações, que geram diferentes tipos de tráfego, como o tráfego Internet que se pretende simular. Deste modo há que manter um QoS (*Quality of Service*) adequado, de modo a que a qualidade perceptível pelo utilizador se mantenha.

Há vários factores que determinam a QoS de um serviço de voz. De entre todos podemos destacar a latência, o *jitter* e, a perda de pacotes de dados.

Latência. É o tempo que um pacote de dados demora a chegar de um interlocutor ao outro. Para que uma conversa de duas ou mais pessoas seja perceptível é necessário que essa latência não seja superior a 150 ms em cada sentido (de acordo com a recomendação da *International Telecommunication Union's Telecommunication branch's* - ITU-T's G.114). Para valores superiores a este intervalo de tempo, as vozes dos interlocutores acabam por se sobrepor, até a conversa se tornar impraticável. Numa rede de dados a latência é obtida pela soma das várias

latências ao longo do trajecto que os pacotes de dados seguirem. É constituída por uma parte fixa, como a latência da aplicação de VoIP (incluindo o CODEC – *COmpressor/ DECompressor*) e a propagação no meio físico, e por uma parte variável, como espera nas filas do equipamento activo de rede (ex. *routers*) e a disputa do meio com outro tráfego.

Jitter. É a medida de variação da latência entre pacotes sucessivos de dados. Um *jitter* elevado produz uma recepção não regular de pacotes de dados, inviabilizando uma conversa normal que espera uma sucessão de pacotes a um ritmo constante. Este ritmo deveria idealmente ser igual àquele a que os pacotes são gerados no emissor. Embora na maioria das vezes o cenário ideal não possa ser obtido, o *jitter* deve pelo menos ter uma gama de variação limitada, de modo a permitir uma gestão controlada por parte das aplicações existentes nos extremos da comunicação. Uma das formas de minimizar o impacto do *jitter* é utilizar um *buffer*. Esse *buffer* vai armazenando os pacotes de dados à medida que eles chegam, enviando-os para a aplicação/circuito descompressor a uma cadência fixa. Ao mesmo tempo, o *buffer* de *jitter* pode proceder ao reordenamento de alguns dos pacotes, caso o protocolo utilizado o permita (ex. RTP – *Real-Time Transport Protocol* [Schulzrinne03]). Devido ao facto deste *buffer* adicional implicar uma latência suplementar, deve ser especificado de modo a que a soma total de latências não ultrapasse os 150 ms referidos anteriormente, tendo muitas vezes um valor à volta dos 50 ms.

Perda de pacotes de dados. O número de pacotes de dados perdidos na rede, quer devido a erros motivados pelo meio físico, quer devido a políticas de eliminação de pacotes por excesso de tráfego na rede, influencia negativamente qualquer transmissão de dados. No entanto, uma aplicação em tempo real como a proporcionada pela VoIP tem a desvantagem de não permitir que um pacote possa ser reenviado em caso de erro pois, quando este finalmente chegasse, o seu tempo certo já teria passado. Por outro lado, estas aplicações também não são tão sensíveis à perda de pacotes de dados como as aplicações de dados tradicionais (ex. transmissão de ficheiros), visto que a perda de uma percentagem baixa de pacotes de dados não afecta significativamente a qualidade da comunicação.

2.2. Configurações e topologias VoIP

Há várias configurações possíveis para criar uma rede com suporte de VoIP. No centro desta rede teremos a Internet, que assegura a ligação extremo a extremo dos utilizadores. Em cada um dos extremos podemos ter vários cenários. Podemos ter um telefone normal, ligado à rede de telecomunicações tradicional que, por intermédio de uma Gateway VoIP, se liga à Internet, podemos ter um PC que codifica, comprime e encapsula os pacotes de voz, e que está directamente ligado à Internet (ao qual pode estar ligado um telefone normal) , ou podemos ter um telefone ligado directamente a uma Gateway VoIP que através da rede de telecomunicações se liga à Internet.

Uma Gateway VoIP proporciona funções de transformação de voz para dados num extremo (emissor) e, dados para voz no outro extremo (receptor). No emissor a Gateway VoIP usa um codificador de voz para transformar uma transmissão que normalmente já vem digital da central, a 64 Kb/s, em amostras comprimidas de 6 a 8 Kb/s, que são posteriormente enviadas em pacotes IP. No receptor, é realizado o processo inverso.

3. Implementação do ambiente de teste

Neste capítulo será descrito o ambiente de testes criado, o simulador utilizado, e os diversos tipos de tráfego usado.

3.1. Caracterização do tráfego

Uma das questões fundamentais ao simular um ambiente como o proposto neste artigo, é saber quais as características do tráfego que passa na rede a simular. Neste caso vamos simular dois tipos

de tráfego distintos, um tráfego Internet (a partir daqui designando pacotes de dados IP que não transportam voz) e um tráfego VoIP.

3.1.1. Tráfego Internet

A simulação de um tipo de tráfego como o presente numa rede Internet apresenta dificuldades extremas [Paxson97] não só devido à imensa complexidade da própria rede, e à grande variedade de equipamentos nela presentes, como também à sua variação no tempo e, à interligação de diversos domínios com políticas de gestão diversas. A sua topologia, que explica o modo como os computadores estão ligados entre si, é variável e complexa, e as próprias ligações entre os computadores são muito diferentes podendo variar entre simples modems com taxas de transmissão muito baixas até troços com fibra óptica com taxas de transmissão na ordem do *Gigabit*. Também o seu imenso tamanho introduz dificuldades acrescidas, não só por potenciar cenários diversos e nem sempre negligenciáveis numa apreciação global, mas também pelos problemas de escalabilidade que traz consigo. A implementação de alguns protocolos e mecanismos também apresenta dificuldades pois o seu comportamento não é igual para redes pequenas e para redes com um número elevado de computadores. Ao mesmo tempo, factores “imprevisíveis” ocorrem de uma forma frequente nestas redes, acentuando ainda mais as dificuldades de simulação. A evolução da Internet também não facilita a tarefa, com a rede a sofrer alterações significativas com o passar do tempo. Essas alterações prendem-se com alterações no próprio tamanho da rede que aumenta de forma não controlável, e também pela velocidade com que o tipo e quantidade de tráfego pode variar. Como exemplo deste facto temos a transformação radical que se deu com a introdução do protocolo *HyperText Transfer Protocol* (HTTP) que, num curto espaço de tempo mudou o tipo e a quantidade de tráfego nas redes. Outro exemplo mais recente pode ser o surgimento de aplicações *peer-to-peer* que aumentaram grandemente o tráfego na Internet.

Fenómenos como o *routing* assimétrico, i.e., o encaminhamentos dos pacotes de A para B poder ter um caminho diferente do utilizado para transmitir de B para A, proporcionam dificuldades acrescidas.

Tendo em conta o cenário apresentado e, tendo em vista o objectivo deste trabalho, a opção foi simplificar bastante este cenário. Deste modo, sabendo-se que seria impossível simular todas as suas características (se tal fosse possível), teve-se em atenção algumas das suas características mais relevantes para o problema em causa. A primeira foi a relação entre o tamanho médio dos pacotes e a sua ocorrência, numa rede IP genérica. Testes efectuado por [Black00] mostram que 40% do tráfego corresponde a pacotes de dados de 40 bytes, que 10% representam pacotes de dados de 1500 bytes, resultantes de tráfego *Ethernet*, que 6% são de 576 bytes e, que 5% são de 552 bytes. Os outros variam entre 175 a 400 bytes. Embora estes valores correspondam a tráfego dos vários protocolos em circulação na Internet, assumimos que para efeitos de simulação são todos UDP. Esta abordagem simplifica a simulação ao mesmo tempo que permite manter os objectivos do artigo. No simulador foi considerada a frequência de ocorrência destes pacotes.

3.1.2. Tráfego VoIP

A selecção do tamanho dos pacotes de VoIP é um compromisso entre o tempo de processamento e transmissão na rede e o efeito que as perdas têm na performance. Tamanhos grandes reduzem a largura de banda necessária à transmissão (o cabeçalho tem sempre o mesmo tamanho), mas aumentam o atraso devido ao tempo necessário para preencher cada pacote de dados. Pacotes de dados pequenos permite que, em caso de perda de um pacote, não se perca uma parte significativa da mensagem a transmitir (visto que os pacotes em falta não serão retransmitidos).

O tamanho dos pacotes varia com o CODEC que utilizarmos e com o tamanho das amostras de voz utilizadas. Numa compressão a 8 Kb/s, com um envio de pacotes de dados a uma frequência de 20 ms, temos que cada pacote de dados terá um tamanho de 20 bytes. No entanto, se a transmissão for feita numa rede IP usando o protocolo RTP, teremos de acrescentar ainda um cabeçalho *Ethernet* de

14 bytes, um cabeçalho IP de 20 bytes, um UDP de 8 bytes e ainda mais 12 bytes para o cabeçalho RTP. Ou seja, para enviarmos um pacote de 20 bytes teremos um *overhead* de 54 bytes. [Boger]

Na simulação foram usados pacotes de tamanho igual a 74 bytes, enviados à cadência de 20 ms.

3.2. Modelo de simulação

O ambiente que se pretende simular, consiste num ambiente IP simplificado, cuja descrição se faz de seguida.

Na Internet cada um dos pacotes de dados é enviado através da rede, sendo encaminhado através de *routers* (encaminhadores) com base no seu endereço. Se um dos *routers* receber mais pacotes do que aqueles que pode encaminhar de imediato, terá de os guardar numa fila, aumentando o atraso dos pacotes na rede e, eventualmente, em casos de congestão mais severa, descartar simplesmente os pacotes, não os reencaminhando. De modo a controlar a perda de pacotes existem protocolos como o TCP (*Transmission Control Protocol*) que permitem garantir uma correcta transmissão de dados, recorrendo à retransmissão caso os pacotes de dados não cheguem ao destinatário como o previsto. Como o objectivo será analisar o comportamento de VoIP sobre uma rede Internet em situações de congestão, foi usado tráfego baseado no protocolo UDP. Este tipo de tráfego não é sujeito a retransmissões e permite mais facilmente gerar situações de congestão. A própria tecnologia VoIP não recorre a mecanismos de retransmissão por ser evidente que, após um limite de tempo pequeno, esses mesmos pacotes deixam de ser necessários, visto que não se pode deixar o destinatário sem receber nenhum tipo de resposta enquanto esperamos por um pacote de dados que se perdeu. Isto faria com que a conversa de dois interlocutores se tornasse impossível. Nesses casos, a existência de erros na comunicação é preferível, sendo passível de correcção por parte dos próprios emissores e receptores em casos extremos.

Nesta simulação, a rede a criar permitirá a existência de dois tipos distintos de tráfego. Estes dois tipos terão prioridades diferentes de modo a que um possa ter precedência sobre o outro. O objectivo desta diferenciação de tráfego é criar um cenário onde existe suporte à implementação de mecanismos de QoS. O primeiro tráfego a considerar será um tipo de tráfego geral, sujeito a uma política *best-effort*, i.e., o tráfego será tratado de uma maneira indiferenciada, enviado pela mesma ordem com que chega aos vários dispositivos, sem restrições de tempo ou controle de erros. O outro tipo de tráfego terá as características da voz sobre IP (VoIP) e será prioritário em relação a todo o outro.

Na simulação cada pacote de dados é representado por um conjunto de propriedades: identificação do *host* destino, prioridade e tamanho do pacote (em bytes).

O esquema geral da simulação é mostrado na Figura 1, e é constituído por cinco blocos principais: dois geradores de tráfego, um que representa a rede IP, e dois destinatários dos pacotes enviados.

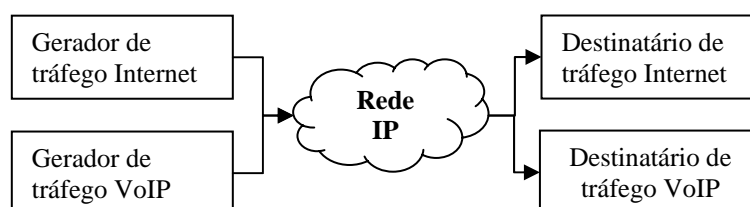


Figura 1 – Esquema simplificada da simulação

O ambiente de teste realizado baseia-se no simulador Extend, versão de demonstração [Extend]. Este simulador genérico permite a criação de modelos a partir de blocos pré-definidos e a criação de novos blocos, que através da suas interação produzem o modelo a simular. Nas figuras 2, 3, 4 e 5 são mostrados detalhes do modelo de simulação em Extend. Este simulador foi escolhido dada a sua simplicidade e capacidade de modelação.

Gerador de tráfego Internet. Este módulo gera tráfego de prioridade baixa (*best-effort*), de acordo com as características enunciadas anteriormente para o tráfego Internet. Para isso o módulo “Rand”, indicado na figura abaixo, gera pacotes de dados com um tamanho especificado de acordo com a probabilidade de ocorrência especificada para esses pacotes. O temporizador foi modelado através de uma distribuição exponencial.

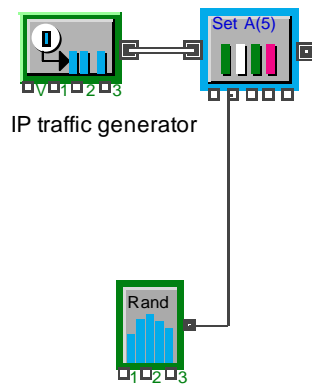


Figura 2 – Gerador de tráfego Internet

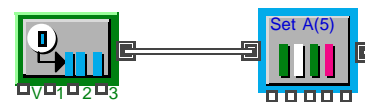


Figura 3 – Gerador de tráfego VoIP

Gerador de tráfego VoIP. Este módulo gera pacotes de tamanho igual a 74 bytes, de prioridade elevada, a uma cadência de 20 ms.

Rede IP. Este bloco é constituído por várias filas, permitindo simular prioridades e atrasos na transmissão de pacotes de dados. Caso a capacidade das filas seja ultrapassada, os pacotes são eliminados. A largura de banda pode ser alterada mas é por omissão de 8 KB/s (64 Kb/s). Esta rede também faz o encaminhamento dos pacotes para o destinatário especificado no pacote de dados.

Destinatário de tráfego Internet. Consiste apenas num receptor dos pacotes de dados Internet enviados.

Destinatário de tráfego VoIP. Este receptor contém um *buffer* de tamanho variável, que permite guardar pacotes de VoIP, cada um correspondente a uma amostra de voz de duração igual a 20 ms. Este *buffer* permite diminuir ou resolver completamente os efeitos causados pelo *jitter*. Do *buffer* são enviados para descodificação (não simulada) pacotes de dados, a uma cadência de 20 ms (a mesma utilizada no emissor). Caso o tamanho do *buffer* seja excedido o pacote é descartado, pois excederia o tempo máximo de referência para que a conversa seja perceptível (definido atrás como sendo igual a 150 ms).

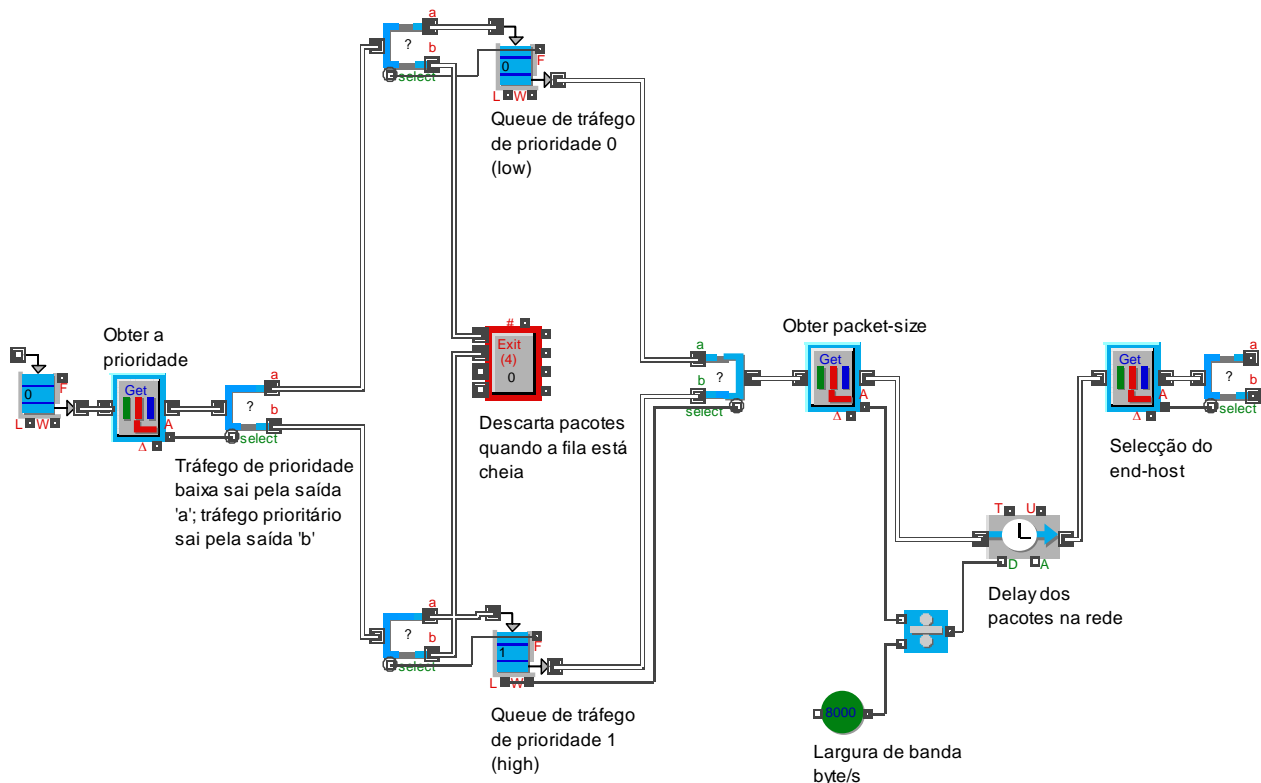


Figura 4 – Modelo de simulação da Rede IP

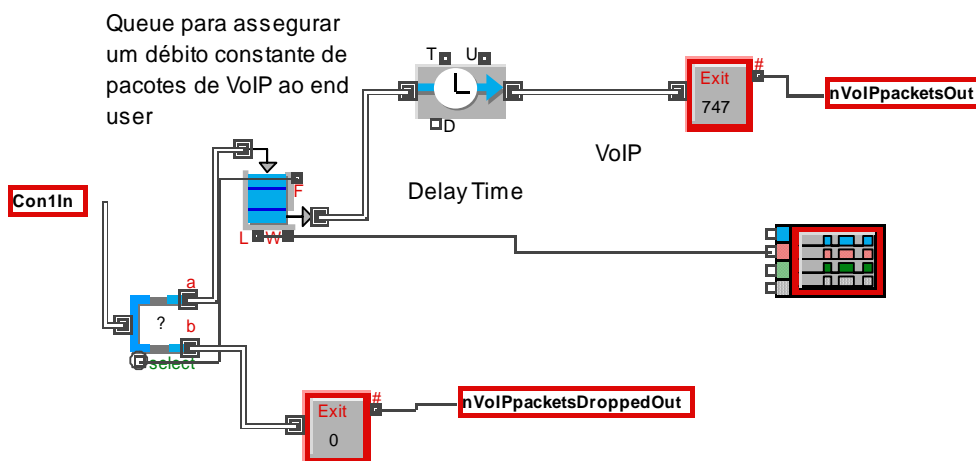


Figura 5 – Módulo do receptor VoIP

As bibliotecas disponíveis no Extend permitem criar dois tipos de simulação: contínuas e discretas. Nas simulações contínuas os valores variam com a passagem do tempo. As simulações discretas são usadas no Extend para modelos que usam filas, itens com atributos, e prioridades [Extend]. As simulações discretas, permitem representar sistemas e a sua evolução ao longo do tempo, usando uma representação em que as variáveis de estado mudam instantaneamente a intervalos de tempo definidos. É nesses momentos que podem ocorrer eventos, ou seja, ocorrências instantâneas que alteram o estado do sistema [Law91].

O ambiente de simulação criado usa o modelo discreto, sendo constituído por blocos das bibliotecas *Discrete Event* (contém blocos especialmente dedicados a simulações discretas), *Generic* (blocos genéricos como por exemplo a geração de números aleatórios) e *Plotter* (recolha de dados da simulação).

As simulações foram repetidas várias vezes, de modo a achar valores médios, e têm uma duração correspondente a 30 segundos.

4. Testes e avaliação

Para analisar um cenário com VoIP, têm de se ter em atenção o tamanho dos *buffers* usados, o tamanho dos pacotes, a latência na rede e a quantidade de pacotes perdidos.

Neste capítulo são descritos os testes realizados no ambiente de simulação descrito anteriormente. Para cada teste são especificados os parâmetros usados e os resultados obtidos.

Parâmetros genéricos:

- Velocidade da rede IP: 8 KB/s (64 Kb/s)
- Pacotes VoIP de 74 bytes enviados a uma cadência de 20 ms;
- A fila de espera existente na rede IP, que vai guardando o tráfego não prioritário, tem uma profundidade de 100 pacotes de dados (independentemente do seu tamanho);
- Carga da rede com tráfego IP (não VoIP): elevada (cerca de 80% da largura de banda disponível);
- A duração da simulação correspondente a 30 segundos, excepto indicação contrária;
- As transmissões de dados realizadas durante os testes não sofrem erros de transmissão;
- Não é considerado o mecanismo de supressão de silêncio no tráfego VoIP;

Teste 1: Análise do tamanho do *buffer* no receptor VoIP

Descrição: O *buffer* existente no receptor VoIP tem como objectivo eliminar o *jitter*, fornecendo ao utilizador um débito que se pretende constante de pacotes de dados (que teoricamente deveria ser igual ao débito com que eles são emitidos).

Condições: Tráfego VoIP com prioridade elevada.

Resultados: Da análise dos dados obtidos verificou-se que o *buffer* no receptor VoIP, tem uma utilização máxima de 10 pacotes de VoIP, sendo que a ocupação média é de 6.5 pacotes VoIP. Deste modo, para evitar a perda de pacotes VoIP, o *buffer* (fila de espera) terá de ter no mínimo um tamanho correspondente a 10 pacotes de VoIP (cada um correspondente a uma amostra de 20 ms). Este *buffer* corresponde a um tempo total de 200 ms, o que fica um pouco acima do limite de 150 ms referido anteriormente para uma comunicação perceptível entre os dois interlocutores.

Conclusões: Embora não exista perda de pacotes, se usarmos um *buffer* com um tamanho correspondente a 10 pacotes de VoIP, haverá algumas ocasiões onde a comunicação ficará um pouco menos perceptível. Para evitar isto poderíamos descartar alguns dos pacotes que chegassem com maior latência. O valor máximo de utilização do *buffer* obtido (10 pacotes de VoIP) resulta do facto de o maior pacote enviado na rede ser de 1500 bytes, o qual demora 0.1875 s a ser transmitido numa rede a 64Kb/s. Durante a transmissão desse pacote são gerados 9,4 pacotes de VoIP que em seguida são transmitidos de uma vez, enchendo o *buffer*.

Teste 2: Análise do tamanho do *buffer* no receptor VoIP

Descrição: (ver Teste 1)

Condições: Não usa prioridades. Todo o tráfego é tratado como *best-effort*.

Resultados: Da análise dos dados obtidos verificou-se que o *buffer* no receptor VoIP, tem uma utilização máxima de 36 pacotes de VoIP (máximo valor obtido), sendo que a ocupação média é de 4.2 pacotes VoIP. De modo a evitar perda de pacotes VoIP, o *buffer* (fila de espera) teria de ter no mínimo um tamanho correspondente a 36 pacotes de VoIP (cada um correspondente a uma amostra de 20 ms). Este *buffer* corresponde a um tempo total de 720 ms, o que fica muito acima do limite de 150 ms referido anteriormente (sem contar com a latência do pacote na rede). Nos testes efectuados só no máximo 10% dos pacotes VoIP chegam em menos de 150 ms ao receptor.

Conclusões: Com a utilização de um *buffer* que guarde 36 pacotes VoIP, não existe perda de pacotes. No entanto a comunicação terá períodos em que estará muito pouco perceptível. Da análise dos dados verifica-se que no máximo só 10% dos pacotes vão do emissor ao receptor num período de tempo inferior a 150 ms, o que dá ideia da má performance deste sistema. O facto de termos um valor elevado para o tamanho do *buffer* é devido ao facto de, em períodos de congestão mais graves, os pacotes VoIP ficarem acumulados na rede, sendo depois libertados, de forma seguida, em períodos de menor congestão. Visto que o tamanho médio de ocupação no *buffer* corresponde a 4.2 pacotes e, como em situações de maior congestão os pacotes ficam muito tempo retidos na rede, é conveniente adoptar uma boa política de eliminação de pacotes. Esta eliminação seria feita de forma selectiva eliminando os pacotes com maior latência. A utilização da supressão de silêncio (não simulada) também seria benéfica neste caso, ao permitir uma redução do número de pacotes na rede.

Teste 3: Análise do jitter

Descrição: (ver Teste 1)

Condições: Tráfego VoIP com prioridade elevada. O *buffer* de *jitter* não tem limite, de modo a não influenciar o teste.

Resultados: Foram realizados vários testes e calculada a média do *jitter* (variação da latência entre dois pacotes sucessivos de VoIP, desde a sua emissão até chegar ao receptor) para cada um deles. O desvio padrão, calculado com base nessas médias, foi de 1.42×10^{-4} s. Em todos os testes, cerca de 85% dos pacotes apresentavam um *jitter* inferior a 0.02 s.

Conclusões: Maior parte dos pacotes apresentam um *jitter* reduzido, pelo que apenas era necessário um *buffer* de pequenas dimensões, de modo a filtrar essas pequenas variações. No entanto, em algumas situações, verificou-se a existência de valores de *jitter* na ordem de 0.18 s motivadas por congestões pontuais na rede, pelo que é aconselhável que o *buffer* tenha alguma capacidade acrescida.

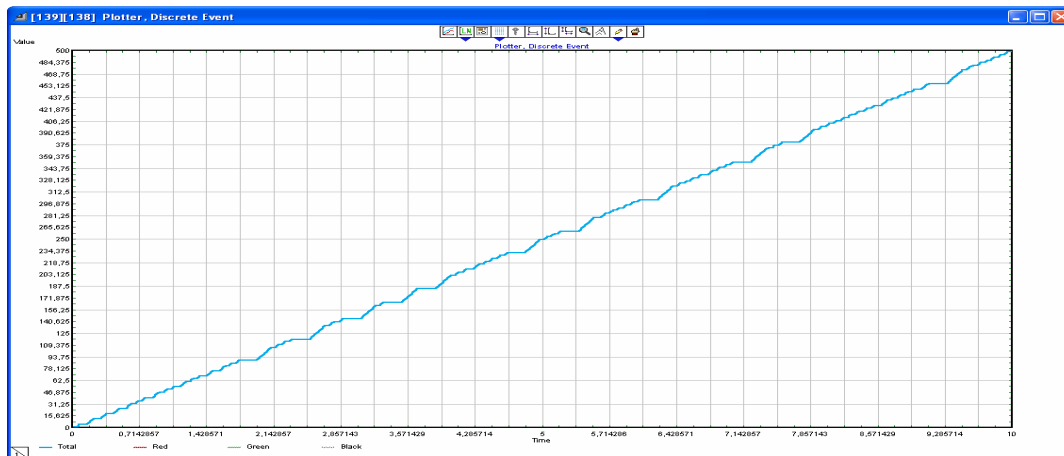


Figura 6 – Momento da chegada dos pacotes VoIP ao destino (exemplo de simulação de 10s).

Teste 4: Análise da perda de pacotes

Descrição: Neste teste pretende-se determinar o número de pacotes de dados perdidos na rede, devido a *overflow* de *buffers*.

Condições: Não usa prioridades, todo o tráfego é tratado como *best-effort*. O *buffer* de *jitter* pode guardar até 10 pacotes de VoIP.

Resultados: Conforme a simulação evolui o número de pacotes eliminados na rede IP (incluindo os VoIP que neste exemplo são contabilizados juntos) aumenta a uma velocidade constante. Os pacotes VoIP eliminados por já não caberem no *buffer* situado no receptor VoIP também vai aumentando, embora a uma menor velocidade.

Foram perdidos em média 20% do número de pacotes enviados para a rede (proveniente dos dois tipos de tráfego). De todos os pacotes enviados cerca de 18% foram eliminados no *buffer* existente na rede IP e 2% no *buffer* existente no receptor VoIP. Ao todo foram perdidos cerca de 24% dos pacotes VoIP enviados e 8% dos pacotes com tráfego Internet.

Conclusões: Sem a existência de uma prioridade mais elevada para o tráfego VoIP, este tráfego sujeita-se às filas de espera do tráfego *best-effort*. Caso a fila esteja cheia é também eliminado, tal como os demais pacotes de dados. Ao ficar atrasado na fila provoca de tempos a tempos *overflow* no *buffer* situado no receptor de VoIP, sendo aí eliminado. A perda maior de pacotes de dados só acontece depois das filas existentes no módulo que simula a rede IP, ficarem cheias.

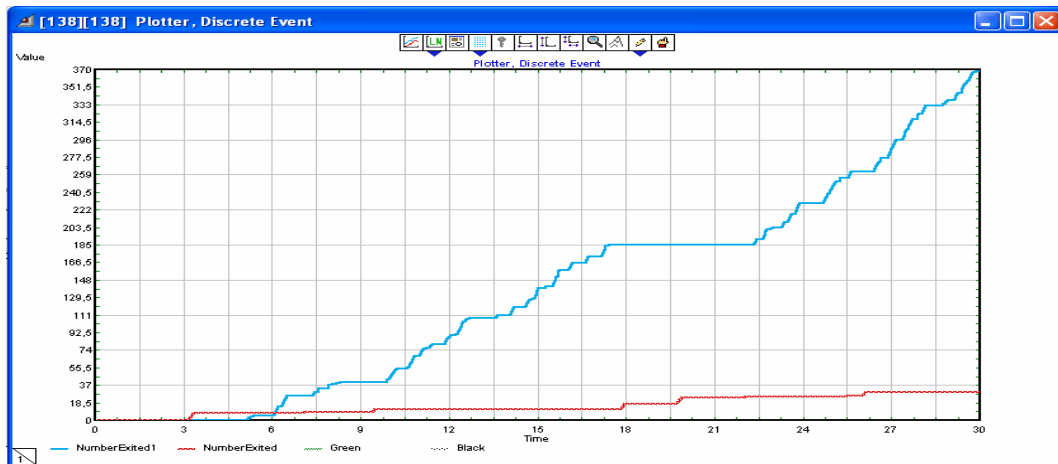


Figura 7 - Pacotes IP eliminados na rede (azul) e, pacotes de VoIP eliminados por não caberem no *buffer* do receptor VoIP.

Teste 5: Análise da perda de pacotes

Descrição: Neste teste pretende-se determinar o número de pacotes de dados perdidos na rede, devido a *overflow* de *buffers*.

Condições: Tráfego VoIP com prioridade elevada. O *buffer* de *jitter* pode guardar até 10 pacotes de VoIP.

Resultados: Conforme a simulação evolui o número de pacotes eliminados na rede IP (sem incluir os VoIP que devido à sua prioridade elevada, não foram eliminados) aumenta a uma velocidade não constante. Nenhum pacote VoIP é eliminado, nem na rede IP nem no *buffer* existente no receptor.

Conclusões: Com a existência de uma prioridade mais elevada para o tráfego VoIP, este tráfego evita ser eliminado no seu trajeto através da rede IP e, não fica retido nas filas, chegando num tempo razoável ao receptor.

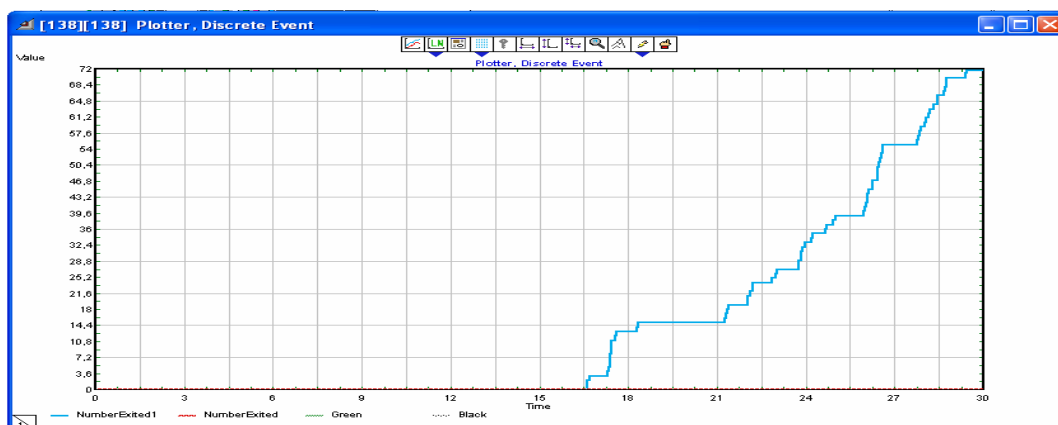


Figura 8 - Pacotes IP eliminados na rede (azul) e, pacotes de VoIP eliminados por não caberem no *buffer* do receptor VoIP (neste caso foram 0).

Teste 6: Latência na rede IP com prioridade ao tráfego VoIP

Descrição: Neste teste pretende-se analisar a latência do tráfego VoIP na rede IP. A latência é medida desde o emissor até à entrada do receptor VoIP.

Condições: Tráfego VoIP com prioridade elevada. O *buffer* de *jitter* pode guardar até 10 pacotes de VoIP.

Resultados: A média da latência dos pacotes com tráfego VoIP (enviado com alta prioridade) foi de 0.063 s. O desvio padrão considerado em relação às médias obtidas nos vários testes foi de 0,003 s.

Conclusões: Cerca de 85% dos pacotes têm uma latência abaixo do limite de 150 ms, sendo a média cerca de 63 ms. Neste cenário, a latência não se apresenta como impedimento a uma boa comunicação através de VoIP.

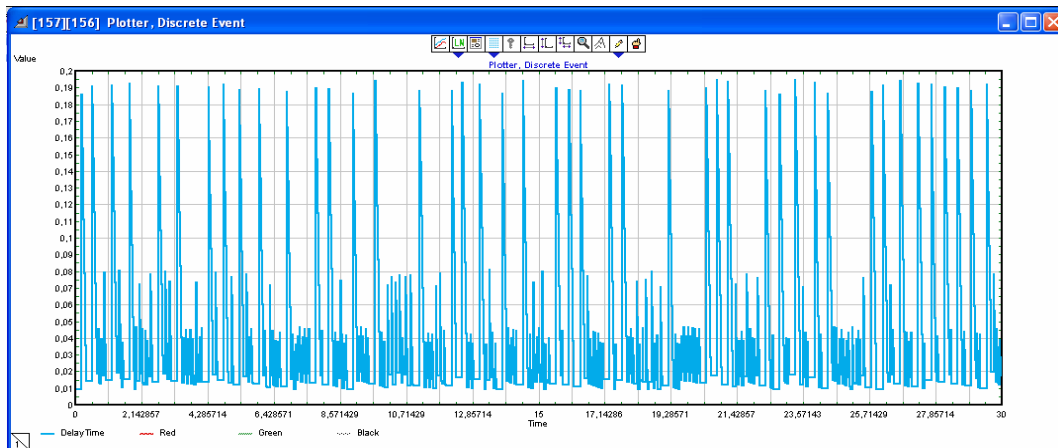


Figura 9 – Latência dos pacotes VoIP, prioritários, na rede

Teste 7: Latência na rede IP sem prioridade ao tráfego VoIP

Descrição: Neste teste pretende-se analisar a latência do tráfego VoIP na rede IP. A latência é medida desde o emissor até à entrada do receptor VoIP.

Condições: Não usa prioridades, todo o tráfego é tratado como *best-effort*. O *buffer* de *jitter* pode guardar até 10 pacotes de VoIP.

Resultados: A média da latência dos pacotes com tráfego VoIP que chegaram ao destino foi de 1.504 s. O desvio padrão considerado em relação às médias obtidas nos vários testes foi de 0,092 s. Só menos de 10% do tráfego VoIP que chegava ao destino, o fazia com uma latência inferior a 150 ms (sem contar com a eventual latência no *buffer* do receptor VoIP).

Conclusões: Com médias na casa do 1.5 s, a comunicação fica muito degradada. Saliente-se ainda que muitos pacotes nem sequer chegam ao destino. Um nível de carga elevado numa rede sem diferenciação de tráfego, não permite usar com fiabilidade o VoIP.

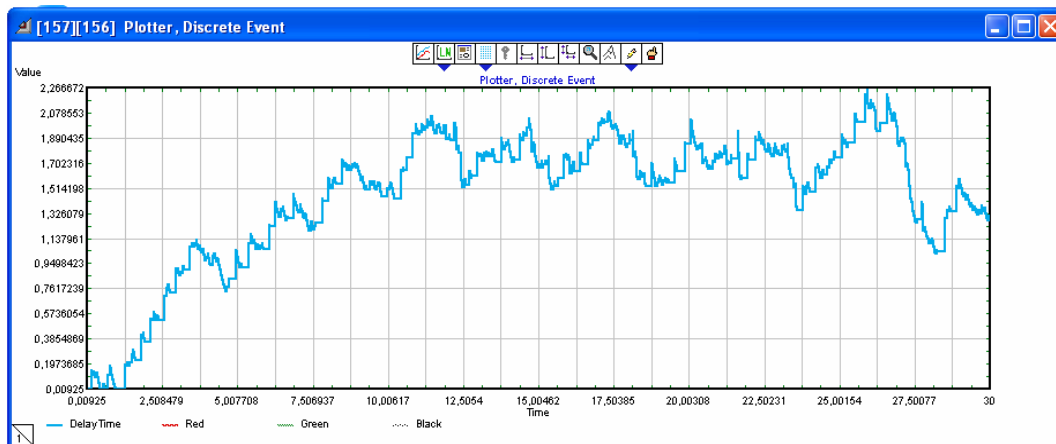


Figura 10 – Latência dos pacotes VoIP, não prioritários, na rede

5. Conclusões

A VoIP apresenta-se cada vez mais como uma alternativa aos operadores de comunicações tradicionais. No entanto, as características das redes IP, que não foram desenvolvidas para suportar este tipo de tráfego em tempo-real, colocam aos gestores e designers destas novas redes, alguns desafios.

Neste artigo, pretendeu-se dar destaque e analisar os parâmetros mais importantes para uma transmissão de voz sobre IP – latência, *jitter*, perda de pacotes de dados e tamanho dos *buffers*. As limitações inerentes à utilização de um simulador não específico para simulação de redes de dados, embora não permita uma análise minuciosa, permite destacar os principais problema da comunicação de voz sobre IP, bem como indicar algumas possíveis soluções.

Do resultado dos testes efectuados podemos concluir a importância da criação de uma rede com suporte à diferenciação dos diversos tipos de tráfego, que permita desta forma dar algumas garantias de qualidade de serviço, ao serviço de VoIP. Também um correcto dimensionamento do *buffer* existente no receptor de VoIP e, uma correcta gestão das políticas de eliminação de pacotes (que, no caso de chegarem com uma latência grande, devem ser eliminados, de modo a não atrasar ainda mais o fluxo de dados), podem também ajudar à transmissão com fiabilidade deste tipo de tráfego com serviços em tempo real.

Referências

- [Black00] Black, U., “Voice Over IP”, Prentice Hall, 2000.
- [Boger] Boger, Y., “Fine-tuning Voice over Packet services”, White Paper, RADCOM, Ltd.
<http://www.protocols.com/papers/voip2.htm>
- [Cork04] Cork, D., “2004: The Year of VoIP”, USTA Telecom Executive, Março/Abril 2004.
<http://www.usta.org>
- [Extend] Imagine That Inc.
<http://www.imaginethatinc.com/>
- [Law91] Law, A., Kelton, W., “Simulation Modeling and Analysis”, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., 1991
- [Paxson97] Paxson, V., Floyd, S., “Why We Don't Know How To Simulate The Internet”, Network Research Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, December 1997.
- [Schulzrinne03] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., Jacobson, V., “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”, Request for Comments (Standards Track) RFC 3550, IETF Network Working Group, July 2003.