

ENCAMINHAMENTO COM QUALIDADE DE SERVIÇO: DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRATÉGIA QOSR-LCT

Marília Oliveira, João Brito, Bruno Melo, Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro
marilia@dei.uc.pt, {jbrito, bmelo}@student.dei.uc.pt, {quadros, edmundo}@dei.uc.pt

Laboratório de Comunicações e Telemática
Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra
Pólo II, Pinhal de Marrocos, 3030 Coimbra

Resumo

Neste artigo é descrita a implementação da estratégia de encaminhamento com Qualidade de Serviço desenvolvida no LCT-UC¹. São apresentadas a arquitectura do sistema e as extensões realizadas ao protocolo OSPF incluído no ambiente de desenvolvimento de protocolos de encaminhamento GateD, sobre o sistema operativo FreeBSD. São discutidos resultados preliminares de avaliação da estratégia proposta.

1 Introdução

Actualmente a Internet fornece a todos os tipos de tráfego um único serviço que segue o paradigma *best-effort*. Um serviço desta natureza mostra-se inadequado para o suporte de aplicações com requisitos específicos da parte do sistema de comunicação, incluindo restrições em termos de largura de banda, atraso, *jitter* e perdas. No seio da IETF², o grupo dos Serviços Diferenciados propôs um modelo de serviço em que o tráfego é classificado num conjunto limitado de classes, sendo que cada classe recebe tratamento específico no sistema de comunicação [Blake1998].

No Laboratório de Comunicações e Telemática está em desenvolvimento um modelo de serviço para a Internet que segue o paradigma de classes existente nos Serviços Diferenciados. O tráfego é classificado em quatro classes, de acordo com a sua sensibilidade a atraso e a perdas [Golick1999]. A estratégia de encaminhamento *Quality of Service Routing* do LCT (QoSR-LCT) tem por objectivo contribuir para a diferenciação do tráfego das classes consideradas neste modelo de serviço, seleccionando os percursos adequados a cada classe [Oliveira1999].

A estratégia QoSR-LCT está a ser implementada como uma nova versão do protocolo de encaminhamento OSPF [Moy1998] incluída no GateD³. No protocolo QoSR-LCT o estado dinâmico da rede é representado através da métrica de Qualidade de Serviço concebida no LCT [Quadros1998]. Esta métrica é composta por um índice de congestão relativo a atraso (*IcA*) e um índice de congestão relativo a perdas (*IcP*). As extensões ao protocolo OSPF incluem a utilização das suas mensagens de actualização para divulgação da métrica do LCT e o cálculo de caminhos para as quatro classes de tráfego consideradas no modelo de serviço do LCT e também, por questões de compatibilidade, para o cálculo do caminho de acordo com o funcionamento do OSPF original.

A concepção da estratégia QoSR-LCT seguiu, em termos da adaptação do protocolo OSPF, a proposta de Guérin para encaminhamento com QoS [Guérin1998].

2 Arquitectura do Sistema

A estratégia de encaminhamento QoSR-LCT é constituída por uma *Política de Encaminhamento* e por um *Mecanismo de Encaminhamento*. A Política de Encaminhamento engloba o processo de distribuição da métrica de QoS, o algoritmo de selecção de percursos e a sua instalação na tabela de encaminhamento do *kernel*. As suas componentes e as interacções respectivas encontram-se expressas na figura 1, sendo descritas de seguida. A

Trabalho parcialmente financiado pelo Programa de Investigação PRAXIS XII do Ministério da Ciência e Tecnologia, sob o contrato PRAXIS/P/EEI/10168/1998 (Projecto QoS II – Qualidade de Serviço em Sistemas de Comunicação por Computador).

¹ Laboratório de Comunicações e Telemática – Universidade de Coimbra.

² <<http://www.ietf.org>>

³ Ambiente de desenvolvimento de protocolos de encaminhamento <<http://www.gated.org>>.

política de encaminhamento foi implementada no ambiente de desenvolvimento de protocolos de encaminhamento GateD.

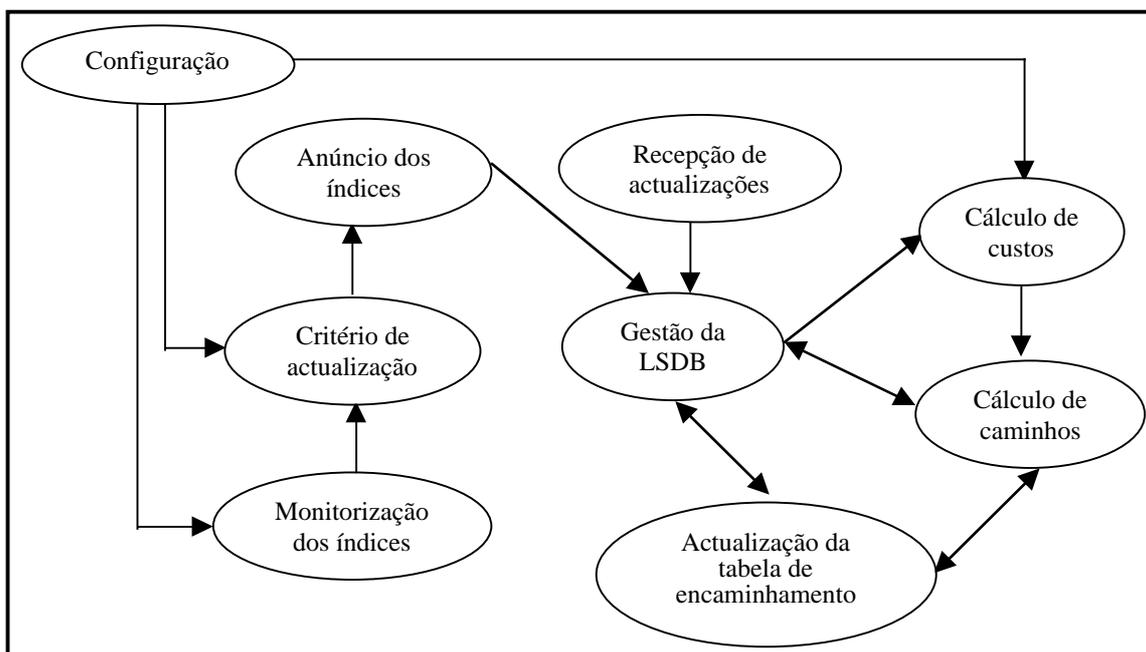


Figura 1- Módulos constituintes da política de encaminhamento.

Monitorização dos índices: os índices de congestão são obtidos do *kernel* através de um *device driver*. Podem ser obtidos valores instantâneos, ou valores representativos do estado dos interfaces no último intervalo de tempo, utilizando uma média pesada dos últimos valores medidos, em que a dimensão da janela é um parâmetro configurável.

Critério de actualização: os índices de congestão só são divulgados se o último valor obtido variar significativamente em relação ao último valor que foi anunciado. De modo a quantificar a variação é utilizado um critério relativo com dois limiares e um ponto de transição (L1, L2, PT), cujos valores são configuráveis. A existência de dois limiares tem por objectivo atenuar a perda de sensibilidade do critério relativo para valores dos índices mais elevados. Se o valor do índice é inferior ao ponto de transição é aplicado um limiar mais elevado do que se o índice se encontrar acima deste ponto. Na figura 2 encontram-se os testes que determinam a decisão de distribuição dos índices.

Anúncio dos índices: os índices de congestão de atraso e de perdas são anunciados nas mensagens de actualização do OSPF (Router-LSA⁴).

Recepção de actualizações: este módulo recebe as actualizações enviadas pelos encaminhadores e envia-as ao módulo de gestão da *Link State Data Base* (LSDB).

Gestão da LSDB: o módulo de gestão da base de dados do estado da ligação (LSDB) é responsável pela recepção de actualizações e pela sua consulta durante o processo de cálculo de caminhos e de actualização da tabela de encaminhamento.

⁴ *Link State Advertisement*.

```

Se      (IcA_actual < PT e
          ((IcA_divulgado - IcA_actual) / IcA_divulgado > L1)) ou
          (IcA_actual >= PT e
          ((IcA_divulgado - IcA_actual) / IcA_divulgado > L2)) ou

          (IcP_actual < PT e
          ((IcA_divulgado - IcP_actual) / IcA_divulgado > L1)) ou
          (IcP_actual >= PT e
          ((IcA_divulgado - IcP_actual) / IcA_divulgado > L2)) então

          "anuncia índices de congestão"

```

Figura 2- Decisão para difusão dos índices de congestão.

Cálculo de custos: este módulo obtém da LSDB os valores dos índices de congestão relativos a cada ligação do sistema autónomo e calcula o custo apropriado para cada classe de tráfego de acordo com a regra indicada na equação 1. Nesta equação, α_i é o peso atribuído ao índice de congestão de atraso correspondente à ligação l , IcA_l , para a classe i , e β_i é o peso atribuído ao índice de congestão de perdas correspondente à mesma ligação, IcP_l , também para a classe i . Os pesos dos índices de cada classe são definidos por configuração.

$$Custo_{l,i} = \alpha_i IcA_l + \beta_i IcP_l \quad (1)$$

Cálculo de caminhos: este módulo é responsável pela aplicação do algoritmo de cálculo de caminhos⁵, para cada classe de tráfego, tendo por base os custos fornecidos pelo módulo de cálculo de custos e a informação existente na LSDB.

Actualização da tabela de encaminhamento: este módulo interage intimamente com o módulo de gestão da LSDB e com o módulo de cálculo de caminhos, sendo responsável pela instalação dos percursos na tabela de encaminhamento do *kernel*.

Configuração: este módulo tem por responsabilidade, além da definição dos parâmetros indicados nos módulos anteriores, a configuração do GateD, nomeadamente a definição da prioridade de cada interface, do tipo de autenticação e dos percursos estáticos.

O Mecanismo de Encaminhamento é responsável pela expedição de pacotes tendo em consideração o endereço destino e a classe de tráfego respectiva, com base na consulta da tabela de encaminhamento. Para que a classe de tráfego seja tida em consideração na expedição de pacotes foi necessário modificar a tabela de encaminhamento do *kernel* do FreeBSD.

3 Implementação

A implementação da estratégia QoS-LCT teve por objectivo a construção de um protótipo que incluía as características propostas, mas limitando as alterações introduzidas. Sempre que possível, foram utilizadas as primitivas existentes na versão base, de modo a manter a simplicidade e tirar partido de uma implementação amplamente testada, revista e divulgada. Todas as alterações realizadas às estruturas existentes tiveram em consideração a necessidade de minimizar a redundância de informação, para não comprometer a eficiência do protótipo. Nesta secção são descritas as estruturas do OSPF às quais foram efectuadas as alterações necessárias para a implementação da estratégia QoS-LCT.

Procedeu-se à activação da opção TOS nas mensagens do protocolo Hello⁶ e nas mensagens do OSPF para identificação dos encaminhadores que divulgam métricas adicionais (*bit T*). Nos Router-LSA (R-LSA) é incluída a indicação de que contêm duas métricas adicionais

⁵ No OSPF, os caminhos mais curtos são calculados pelo algoritmo de *Dijkstra*. Este algoritmo é do tipo *Shortest Path First* (SPF).

⁶ Protocolo responsável pelo estabelecimento e manutenção das relações entre encaminhadores vizinhos.

(#TOS), ou seja, os valores dos índices de congestão de atraso e de perdas associados a cada interface descrito.

Cada encaminhador possui uma estrutura AREA por cada área a que pertence. Esta estrutura engloba as componentes básicas de funcionamento do protocolo, incluindo a base de dados do estado da ligação (LSDB), a árvore de caminhos mais curtos da área (spf) e os interfaces do encaminhador que estão ligados à área (INTF).

A LSDB tem a forma de um grafo dirigido e é constituída pelas mensagens de actualização recebidas, nomeadamente, R-LSA, N-LSA⁷ e S-LSA⁸. A aplicação do algoritmo de *Dijkstra* a este grafo permite construir a árvore de caminhos mais curtos para todos os destinos da área. Para cada um dos encaminhadores cujo LSA se encontra na LSDB, existe também a informação do custo entre esse nó e o nó raiz (lsdb_dist), um ponteiro para a entrada na tabela de encaminhamento do GateD que deve ser utilizada para esse destino (rt_entry *lsdb_route) e uma lista com as próximas etapas para chegar ao nó respectivo (struct NH_BLOCK *lsdb_nh [RT_N_MULTIPATH⁹]). Tem-se deste modo que a LSDB é preenchida na recepção de LSAs e completada com a aplicação do algoritmo SPF.

Após a aplicação do algoritmo de cálculo de caminhos, a tabela de encaminhamento é preenchida, para cada destino, com o custo do caminho mais curto e com a próxima etapa no caminho mais curto para esse destino. A próxima etapa (NH_BLOCK) a utilizar para um destino inclui a identificação do interface por onde o pacote deve ser expedido e o endereço IP do encaminhador correspondente.

Na estratégia QoS-LCT o algoritmo de cálculo de percursos é aplicado ao grafo representativo da área, uma vez para cada classe considerada. Deste modo, a estrutura AREA foi alterada para comportar 5 árvores de caminhos mais curtos (spf [5]). Na estrutura LSDB foi replicada a informação relativa aos percursos: os custos entre o nó raiz e cada nó do grafo (lsdb_dist [5]), os ponteiros para as entradas da tabela de encaminhamento (rt_entry *lsdb_route [5]) correspondente a cada classe e a lista com as próximas etapas (struct NH_BLOCK *lsdb_nh [5] [RT_N_MULTIPATH]).

A estrutura INTF contém informação sobre os interfaces que é específica do OSPF. Alguns dos parâmetros associados a um interface OSPF são o endereço IP, o tipo de interface, o período de emissão de pacotes Hello, o custo do interface, a prioridade do interface e a identificação do encaminhador designado.

Na implementação da estratégia QoS-LCT foi necessário introduzir cinco custos na estrutura INTF. Um custo é respeitante ao custo base do OSPF e os outros custos resultam da aplicação da regra de custos. Nesta estrutura também foram introduzidos os valores actuais dos índices de congestão de atraso e de perdas associados ao interface (IcA, IcP) e os últimos valores destes índices que foram divulgados (IcAdiv, IcPdiv) de modo a permitir a aplicação do critério de distribuição da métrica. Como cada interface tem um ponteiro para a entrada correspondente na tabela de encaminhamento, foi necessário criar ponteiros para as entradas respeitantes a todas as classes (rt_entry *ifa_rt [5]).

No OSPF cada encaminhador mantém uma estrutura com informação relativa aos percursos que possui para os outros encaminhadores do sistema autónomo (gw_entry). Nesta estrutura é mantido o número de percursos (gw_n_routes) e uma fila com os percursos existentes (rtq_entry gw_rtq). Na estratégia QoS-LCT, a cada encaminhador estão associadas cinco entradas na tabela de encaminhamento, pelo que foi necessário armazenar o número de percursos mantidos para cada classe (gw_n_routes [5]) e criar filas para os percursos de todas as classes (rtq_entry gw_rtq [5]).

A tabela de encaminhamento tem a forma de uma *radix tree*, de modo a permitir uma pesquisa eficiente dos endereços [Wright1995]. A *radix tree* é composta por estruturas do tipo radix_nodes. Na figura 3 encontra-se um esquema simplificado de um radix-node. Cada nó tem um ponteiro para uma estrutura do tipo rthead que contém o endereço e

⁷ Network-LSA - mensagem emitida pelo *Designated Router* com a descrição das redes a que está ligado.

⁸ Summary-LSA - mensagem emitida pelos *Area Border Router* com informação relativa a destinos externos à área.

⁹ Número de caminhos alternativos suportados. Se existirem vários, é seleccionado um aleatoriamente.

máscara destino associados a este `radix_node`. A estrutura `rthead` contém a entrada de uma lista duplamente ligada de `rt_entry` ordenadas por preferência¹⁰.

A duplicação da informação sobre os percursos para as diferentes classes consideradas foi realizada a este nível, sendo inserida em cada `radix_node`, uma `rthead` para cada classe. Deste modo as modificações às funções de manipulação da árvore foram reduzidas e a unidade elementar da tabela de encaminhamento, `rt_entry`, não sofreu alterações.

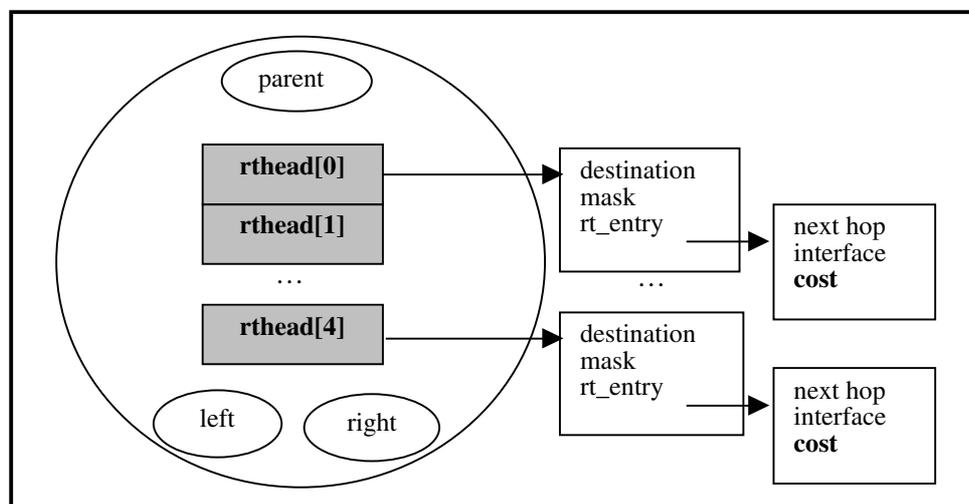


Figura 3- Estrutura de um *radix node* da estratégia QoSRLCT.

3.1 Expedição de pacotes

Os percursos resultantes da aplicação do algoritmo de cálculo de caminhos são instalados na tabela de encaminhamento do *kernel* de modo a permitir a expedição de pacotes. Para cada destino considerado são instalados cinco percursos, um para cada classe. Sendo assim, a consulta da tabela de encaminhamento deve ser realizada com base em dois critérios: o endereço destino e a classe a que o pacote pertence.

O interface entre as funções de processamento da camada IP, responsáveis pela expedição de pacotes, e a tabela de encaminhamento, é realizado através da estrutura `route` [Wright1995]. Esta estrutura contém um campo relativo ao destino e um ponteiro para a entrada da tabela de encaminhamento correspondente. Na estratégia QoSRLCT foi introduzido um novo campo nesta estrutura que permite identificar qual a classe para a qual se pretende consultar a tabela de encaminhamento.

A outra alteração que é necessária à expedição de pacotes, prende-se com a *cache* que o algoritmo de expedição mantém para o último destino para o qual foi expedido um pacote. Na estratégia QoSRLCT é mantida uma *cache* para cada classe (`ipforward_rt[5]`).

As principais diferenças entre a versão original de encaminhamento com OSPF e o protótipo implementado encontram-se expressas na tabela 1.

¹⁰ A preferência é determinada pela origem do percurso. Por exemplo, um percurso para um interface da máquina tem preferência 0, e um percurso *default* tem preferência 20.

	Versão original	Versão modificada
Hello	Opção de TOS <i>routing</i> desactivada	Opção TOS <i>routing</i> activada
OSPF	Opção TOS <i>routing</i> desactivada Métrica dos interfaces definida por configuração Actualizações emitidas cada 30 minutos O custo utilizado na aplicação do algoritmo SPF é a métrica divulgada É calculada uma árvore de caminhos mais curtos	Opção TOS <i>routing</i> activada Métrica dos interfaces dinâmica – (<i>IcA</i> , <i>IcP</i>) Emissão de actualizações depende do critério O custo utilizado na aplicação do algoritmo SPF resulta da combinação pesada dos valores dos índices São calculadas 5 árvores de caminhos mais curtos
<i>Kernel</i>	Expedição de pacotes com base no endereço destino	Monitorização dos índices de congestão Expedição de pacotes com base no endereço destino e na classe

Tabela 1- Comparação entre a versão original e a estratégia QoS-R-LCT.

4 Avaliação da Estratégia

A avaliação da estratégia de encaminhamento foi realizada em duas fases. Na primeira fase dos testes foi avaliado o critério de distribuição dos índices, sendo analisado o *overhead* de comunicação introduzido pela emissão de mensagens de actualização. Como resultado destes testes foram determinados valores de referência para os parâmetros do critério. Outro aspecto que foi estudado prende-se com os valores dos índices aos quais o critério é aplicado. Assim, o critério é aplicado a valores dos índices que correspondem à média móvel dos últimos valores medidos [Oliveira2000]. A segunda fase de avaliação do protótipo inclui os testes relativos ao algoritmo de selecção de caminhos.

Nesta secção são apresentados os resultados de avaliação de estabilidade do algoritmo de selecção de percursos em função da dimensão da janela utilizada.

4.1 Descrição dos testes

O GateD inclui uma ferramenta, denominada *OSPF_monitor*, que permite realizar a monitorização de todos os encaminhadores de uma área, incluindo estado dos interfaces, conteúdo da LSDB, tabelas de encaminhamento e estatísticas sobre o funcionamento do protocolo. O *OSPF_monitor* foi alterado de modo a acompanhar o desenvolvimento da estratégia QoS-R-LCT. Na figura 4 encontra-se um excerto da consulta da tabela de encaminhamento, com percursos das classes 1 e 2, obtido com a versão modificada desta ferramenta.

Na figura 5 encontra-se o cenário de testes utilizado, estando identificados os encaminhadores com a notação *Router i (Ri)* e os endereços IP das redes que o constituem. Os encaminhadores são implementados em computadores Celeron a 450 MHz, com 64 Mbyte de RAM, com o sistema operativo FreeBSD.

Networks:							
Destinations	Area	Cost	Type	Next Hop	Adv Router	Class	
10.3.3	0.0.0.0	130	Net	10.3.3.4	10.3.3.4	1	
10.3.6	0.0.0.0	214	Net	10.3.0.1	10.3.6.10	1	
10.3.7	0.0.0.0	303	Net	10.3.0.1	10.3.2.12	1	
10.3.5	0.0.0.0	234	Net	10.3.1.6	10.3.6.10	1	
10.3.2	0.0.0.0	233	Net	10.3.1.6	10.3.2.12	1	
10.3.0	0.0.0.0	93	Net	10.3.0.1	10.3.0.1	2	
10.3.4	0.0.0.0	93	Net	10.3.0.1	10.3.0.1	2	
10.3.1	0.0.0.0	85	Net	10.3.1.4	10.3.3.4	2	

Figura 4- Excerto da tabela de encaminhamento relativo a percursos das classes 1 e 2.

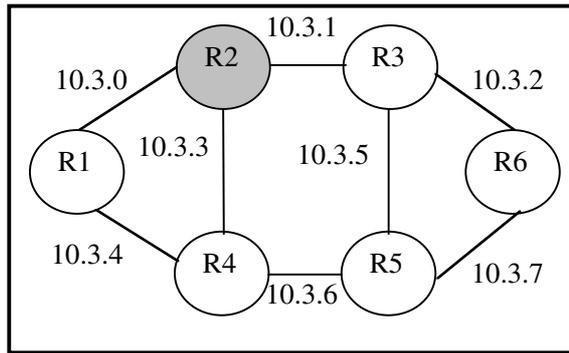


Figura 5- Cenário de testes para avaliação da estratégia QoS-R-LCT.

Como o protótipo da estratégia QoS-R-LCT ainda não foi acoplada ao protótipo do escalonador, os testes são realizados com valores dos índices gerados de modo aleatório, simulando situações de carga baixa, média e alta de acordo com as distribuições indicadas na tabela 2. A seleção do tipo de carga e do tempo de permanência do tipo de carga escolhido é realizada de modo aleatório. Para cada interface, os valores dos índices de congestão de atraso e de perdas são gerados de modo independente. Os interfaces dos encaminhadores têm propriedades independentes, ou seja, um interface pode estar numa situação em que a carga é alta e outro com carga baixa.

Índices com carga baixa	$I_c = U(0,40)$
Índices com carga média	$I_c = U(30,70)$
Índices com carga alta	$I_c = U(60,100)$
Tempo de permanência em cada tipo de carga	$U(1,60)$ segundos

Tabela 2- Parâmetros para geração dos valores dos índices de congestão.

A dinâmica da estratégia QoS-R-LCT foi avaliada para valores dos índices instantâneos (janela = 1 amostra) e para valores dos índices resultantes da aplicação de uma média móvel de janelas com dimensão 10, 20 e 30 amostras. Os limiares utilizados resultaram dos testes de aferição realizados na fase de avaliação do critério de distribuição da métrica, tendo os valores ($L1 = 30\%$, $L2 = 15\%$ e $PT = 50$). Foram realizados cinco testes com a duração de 5 minutos para cada condição de teste. Em cada teste foram utilizados valores dos índices diferentes, sendo amostrados com intervalos de 1 segundo, que é a granulosidade mais fina permitida pelo GateD.

As medições foram realizados no *Router 2*, um dos encaminhadores com três interfaces, utilizando a ferramenta *OSPF_monitor*. Os parâmetros avaliados foram o número de R-LSA emitidos, o número de LSAs recebidos (R-LSA e N-LSA), o número de vezes que o algoritmo de cálculo de caminhos foi aplicado e o número de alterações de percursos.

4.2 Análise de resultados

Os resultados dos testes descritos na subsecção anterior encontram-se na figura 6.

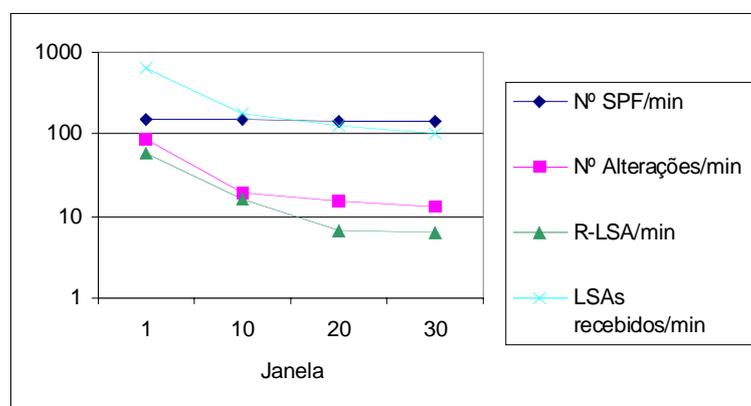


Figura 6- Avaliação da estratégia relativamente à dimensão da janela.

No gráfico da figura 6 observa-se que o número de actualizações recebidas e o número de R-LSAs emitidos decresce com o aumento da dimensão da janela. Este resultado deve-se ao facto dos valores dos índices que são submetidos ao critério de divulgação da métrica apresentarem um padrão de variação mais suave, reduzindo o número de vezes em que o critério se verifica. Perante estes resultados, pode concluir-se que é possível configurar a dimensão da janela de modo a limitar o número de actualizações emitidas pelos encaminhadores.

Da análise da figura 6 verifica-se que o número de actualizações recebidas e o número de R-LSA emitidos não têm uma influência significativa no número de vezes que o algoritmo SPF é aplicado. O algoritmo de cálculo de caminhos é aplicado o número máximo de vezes que é permitido pela configuração do protocolo¹¹ devido ao elevado número de actualizações recebidas.

O número de actualizações emitidas e recebidas por um encaminhador depende dos parâmetros utilizados na configuração do critério e da dimensão da janela. No entanto, o número de actualizações recebidas também é função do número de encaminhadores e de redes existentes na área, ou seja, quanto maior e mais complexa for a área, maior será o número de actualizações recebidas. Nestas circunstâncias, a dimensão e estrutura da área é mais determinante para a frequência de aplicação do algoritmo SPF (porque são recebidos mais actualizações) do que o valor da janela. Perante estes resultados, concluímos que não é possível reduzir o consumo de capacidade de processamento exclusivamente através da dimensão da janela.

Surge assim, um problema importante de consumo de capacidade de processamento. Esta situação poderia ser ultrapassada pelo aumento do intervalo mínimo entre aplicações sucessivas do algoritmo SPF. No entanto, neste caso, iriam ser recebidas muitas actualizações que não seriam consideradas para actualização de percursos, contribuindo apenas para o consumo de largura de banda no sistema de comunicação. Deste modo, o controlo do número de SPF deverá ser realizado pelo ajuste dos parâmetros do critério, de modo a que as actualizações que originam o cálculo de caminhos não cheguem a ser emitidas.

Os resultados obtidos permitem concluir que, através da manipulação da dimensão da janela, é possível limitar o número de alterações de percursos. Quando se passa da utilização de valores dos índices não suavizados (janela = 1 amostra) para valores dos índices sujeitos a uma janela de dimensão 10, verifica-se que o número de alterações de percursos decresce 77%, conseguindo-se deste modo aumentar a estabilidade do protocolo. Com janelas de dimensão 20 e 30 amostras, o número de alterações de percursos decresce, respectivamente, 82% e 85%, relativamente ao caso dos valores instantâneos. Verifica-se assim, que uma

¹¹ O intervalo de tempo mínimo entre duas aplicações consecutivas do algoritmo de cálculo de caminhos para todas as classes é de 2 segundos.

janela de dimensão 20 pode ser utilizada como valor de referência, pois o aumento para 30 amostras não introduz um acréscimo de estabilidade significativo.

Como foi referido, quando a dimensão da janela aumenta, o padrão de variação dos valores dos índices é mais suave, reflectindo-se de modo semelhante nos custos utilizados em aplicações sucessivas do algoritmo de cálculo de caminhos. Deste modo, a aplicação do algoritmo SPF resulta com menor frequência numa alteração de percurso.

5 Conclusões e Trabalho Futuro

No Laboratório de Comunicações e Telemática foi desenvolvida uma estratégia de encaminhamento com QoS adequada a um modelo de serviço onde a diferenciação de tráfego é realizada por classes. Cada encaminhador da rede divulga a métrica de QoS do LCT a todos os outros encaminhadores, sendo posteriormente calculados os percursos adequados a cada classe de tráfego. A estratégia foi concebida de modo a permitir a introdução das alterações necessárias à realização de encaminhamento com QoS no protocolo OSPF. O ambiente de desenvolvimento foi o GateD sobre o sistema operativo FreeBSD. O *kernel* do sistema operativo foi modificado de modo a que a expedição de pacotes tenha em consideração, além do endereço destino, a classe de tráfego a que o pacote pertence.

A avaliação preliminar do algoritmo de selecção de caminhos foi realizada para vários valores da dimensão da janela para suavização dos índices. Verificou-se que o aumento da dimensão da janela reduz o número de actualizações emitidas, reduzindo simultaneamente o consumo de largura de banda e o número de alterações de percursos. Estes resultados mostram que a estratégia QoS-LCT possui capacidade para calcular caminhos para diferentes classes de tráfego com base em informação dinâmica sobre o estado na rede, mantendo contudo o número de actualizações e de alterações de percursos numa gama de valores razoáveis.

No entanto, com os parâmetros do critério utilizados nestes testes, o aumento da janela não consegue reduzir consumo de capacidade de processamento por aplicação excessiva do algoritmo de cálculo de caminhos. Para ultrapassar esta situação deverão ser utilizados limiares mais elevados para controlar o número de actualizações responsáveis por despoletar o cálculo de caminhos.

Os aspectos descritos acima irão ser tratados em testes futuros. Após a integração com o protótipo do escalonador serão também realizados testes para análise da capacidade de balanceamento de carga e avaliação do desempenho sentido pelo tráfego das diferentes classes.

Referências

[Blake1998] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, “An Architecture for Differentiated Services”, Request for Comments 2475, Network Working Group, Dezembro 1998.

[Golick1999] J. Gollick, “Catching the Multimedia Wave”, *Data Communications*, March 1999.

[Guérin1998] R. Guérin, S. Kamat, A. Orda, T. Przygienda, D. Williams, “QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions”, Internet Engineering Task Force, Internet Draft, January 1998. Work in progress.

[Moy1998] J. Moy, “OSPF Version 2”, Internet Engineering Task Force, Network Working Group, Request For Comments 2328, April 1998.

[Oliveira1999] M. Oliveira, G. Quadros, B. Melo, “Estratégia de Encaminhamento com Qualidade de Serviço com Base na Métrica do Laboratório de Comunicações e Telemática”, *Relatório Interno*, Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra, Setembro de 1999.

[Oliveira2000] M. Oliveira, B. Melo, G. Quadros, E. Monteiro, “QoS Routing Strategy for the Diffserv Framework”, aceite para publicação em *Proceedings of SPIES's International*

Symposium on Voice, Video, and Data Communications (Internet III: Quality of Service and Future Directions), Boston, Massachusetts, USA, 5-8 Novembro, 2000.

[Quadros1998] G. Quadros, E. Monteiro, F. Boavida, “A QoS Metric for Packet Networks”, *Proceedings of SPIE's symposium on Voice, Video, and Data Communications conference on Quality of Service Issues Related to Internet*, Boston, MA, USA, November 2-5, 1998.

[Wright1995] G. Wright, W. Stevens, “TCP/IP Illustrated – The Implementation”, Vol. 2, Addison-Wesley, 1995.