

# Encaminhamento Inter-Domínio com Qualidade de Serviço

Luiz Lopes, Maria João Nicolau e António Costa  
Departamento de Informática, Departamento de Sistemas da Informação  
UNIVERSIDADE DO MINHO  
{luiz, costa}@di.uminho.pt  
joao@dsi.uminho.pt

**Resumo** - Para dotar o encaminhamento Inter-domínio, baseado no BGP, da capacidade de determinar caminhos dependendo dos requisitos de Qualidade de Serviço do tráfego fim a fim, torna-se fundamental incorporar métricas de QoS nas mensagens BGP trocadas entre os Routers Fronteira dos Sistemas Autónomos (AS). Esta proposta apresenta a implementação de uma estratégia de encaminhamento Inter-domínio com QoS (*riQoS*), desenvolvida sobre uma extensão BGP ao NS2 (*ns-BGP*). O *riQoS* estende os atributos do BGP e utiliza as mensagens UPDATE para divulgar informações de QoS entre os vários Routers Fronteira dos ASs. Para isso, o *riQoS* implementa alterações nos processos de comparação de rotas e de decisão do BGP tendo em conta a Largura de Banda e o Atraso em cada um dos Routers e ligações entre si. Em vez de utilizar métricas determinísticas, o BGP anuncia as informações através de métricas com significado estatístico: Available Bandwidth Index (*ABI*) e Delay Index (*DelayI*) [1], que permitem estimar os valores instantâneos da Largura de Banda disponível e do Atraso fim a fim.

**Palavras-chave** - Encaminhamento Inter-Domínio, QoS, BGP

## I. INTRODUÇÃO

A Internet é composta por muitos domínios administrativos, chamados Autonomous System (AS), separados fisicamente e ligados entre si. No intuito de permitir uma qualidade de serviço fim a fim para as diversas aplicações existentes na Internet, torna-se evidente e necessário que haja um ajustamento eficaz no modelo de encaminhamento actual. Assim, o encaminhamento inter-domínio com QoS tem um papel de elevada importância na escolha protocolar das rotas baseada nas informações de disponibilidade e recursos de rede entre estes domínios.

O BGP (*Border Gateway Protocol*) [2] é o único protocolo inter-domínio em uso. Disponibiliza um vasto conjunto de atributos, que o tornam evolutivo, poderoso e escalável. Em conjunto com algumas políticas de selecção de rotas e outros mecanismos associados, apresenta uma evolução significativa no que se refere a garantias de qualidade de serviço. Munir o BGP com essas capacidades de garantia de QoS torna-se um desafio enquadrado nesta tendência de evolução.

## II. TRABALHO RELACIONADO

O encaminhamento baseado em QoS é reconhecido como uma peça fundamental e em falta na evolução dos serviços oferecidos na Internet e que apresentam requisitos que necessitam de

garantias de qualidade de serviço. Assim, o modelo de encaminhamento existente poderia sofrer alterações, na forma de uma extensão para que estas necessidades de QoS sejam supridas.

E. Crawler [4] adverte para as necessidades de QoS no encaminhamento e propõe uma solução baseada em QoS com suporte ao encaminhamento intra e inter-domínio permitindo a co-existência de soluções como o QOSPF [5] e IPNNI [6].

Bonaventure [3] concentra-se em como distribuir a informação de QoS de uma forma flexível através do BGP em diferentes cenários de redes. Esta ideia também é seguida pelo *riQoS*. A proposta apresentada por Cristallo e Jacquenet [7] inclui um novo atributo para as mensagens do tipo UPDATE existentes no BGP, chamado *QoS\_NLRI* para gravar as informações de QoS.

Fazendo uso da estatística no encaminhamento com QoS, Lorenz [8] e Guerin [9] propõem algoritmos de encaminhamento QoS baseados na função densidade de probabilidade. No entanto, esta abordagem implica muito processamento computacional e sobrecarga de comunicação.

Xiao [1] propõe uma resposta aos desafios de escalabilidade e heterogeneidade, através do anúncio de métricas de QoS estatísticas e compostas, ao invés de métricas determinísticas. O anúncio e a selecção de rotas no BGP são redefinidos para o envio de informações de QoS e as métricas são anunciadas numa mensagem UPDATE como fossem atributos do BGP. É este o modelo seguido na proposta que o *riQoS* concretiza.

## III. DESCRIÇÃO DO RIQOS – ENCAMINHAMENTO DE INFORMAÇÃO COM QUALIDADE DE SERVIÇO

As métricas tradicionais são determinísticas ao longo de todo o tempo e vantajosas por implicarem uma baixa sobrecarga (*Overhead*) de mensagens. Já as métricas de QoS dinâmicas variam de acordo com o tráfego existente na rede e conseguem reflectir o estado instantâneo embora tragam maior sobrecarga de mensagens. O encaminhamento baseado em métricas que reflectem o estado instantâneo não é escalável. Uma forma de resolver este problema é através do uso de métricas estatísticas.

De acordo com o *riQoS*, o BGP foi estendido para anunciar informações de Largura de Banda e Atraso das rotas mas ao invés das tradicionais métricas determinísticas de QoS, são definidas e aplicadas as seguintes métricas estatísticas:

**Available Bandwidth Index (ABI)** – Modela o valor instantâneo da Largura de Banda através da probabilidade de um intervalo de valores. É uma métrica composta.

**Delay Index (DelayI)** – Modela o valor instantâneo do Atraso através da probabilidade de um intervalo de valores. É uma métrica composta.

As principais características do riQoS são:

**Informações de Qualidade de Serviço** - A informação de QoS é obtida em intervalos de probabilidades e embutida nas mensagens de Update do BGP na forma de atributos.

**Tipo de Métricas de QoS** – A utilização de métricas estatísticas que modelam valores probabilísticos num dado percurso através da probabilidade de um intervalo de valores reduz a precisão da informação de QoS a ser anunciada tornando-a mais flexível, por exemplo para o uso em previsões de congestionamento.

**Monitorização do Estado de QoS** - Através das actualizações em mensagens BGP do tipo Update com informações de qualidade de serviço, torna-se possível monitorizar e controlar o estado de QoS dos Routers que traduzem o estado dos ASs.

**Escalabilidade** – A captura de propriedades estatísticas detalhadas das distribuições de informação de QoS faz com que as métricas utilizadas sejam mais eficientes e diminuam o Overhead de mensagens de encaminhamento. Assim, a escalabilidade é garantida.

**Heterogeneidade** – Por serem utilizadas métricas estatísticas heterogêneas, é possível que sejam aplicadas em outras redes e protocolos, por exemplo IGP, que também necessitem de informações de QoS.

Ao usar métricas estatísticas em anúncios BGP, o Overhead de mensagens no riQoS pode ser reduzido para níveis próximos do custo de encaminhamento com métricas estáticas. Esta aproximação torna o anúncio das informações de QoS bastante escalável para redes maiores além da heterogeneidade entre domínios que não é atingida nem pela utilização de métricas estáticas nem dinâmicas.

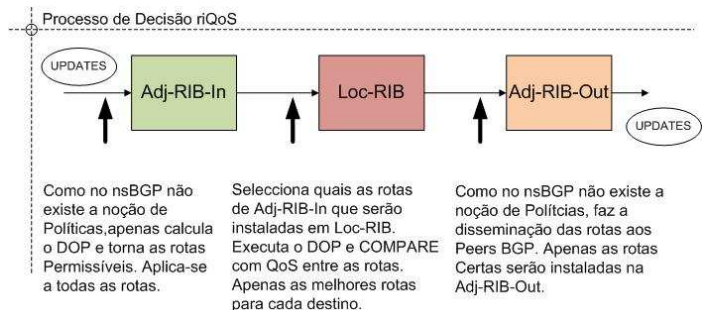


Figura 2 – Processo de Decisão do riQoS

Todas as três fases do processo de decisão do riQoS abstraem-se de qualquer tipo de políticas do BGP, tanto de entrada como de saída. A grande diferença entre o processo de decisão do riQoS (Fig. 2) e do BGP está na comparação de rotas que é executada na segunda fase do seu processo, imediatamente antes das entradas

das rotas na Loc-RIB. Esta comparação de rotas passa pela leitura de parâmetros de QoS existentes nas rotas (ABI e DelayI).

#### IV. RIQoS – ENCAMINHAMENTO DE INFORMAÇÃO COM QUALIDADE DE SERVIÇO (IMPLEMENTAÇÃO)

Para concretização do riQoS, foi necessário introduzir novos atributos nas suas mensagens de UPDATE. A alteração das informações associadas às rotas, implicou alterações em todo o processo de comparação de rotas por parte do BGP, que teve que sofrer transformações para suportar estas novas funcionalidades.

##### 1) Cálculo das métricas

No momento da execução do protocolo BGP, os objectos *Abi* e *Delayi* são iniciados e adicionados a uma nova rota que é instalado na *Loc-Rib* como uma nova rota ou como uma alteração a alguma rota já existente. A nova rota é instalada e passada para a Fase 3 do processo de decisão, originando uma mensagem de *Update* que é propagada aos vizinhos. Aqui será feita uma procura no *Link* de valores estatísticos para as métricas de QoS existentes.

Os valores das métricas de QoS nos *links* e nas filas de espera serão analisados estatisticamente através de uma amostragem num tempo reduzido de 0.03 seg. e até ao máximo de 50 amostras, repetidamente enquanto a simulação não terminar. Esses valores são armazenadas num vector para cada métrica, que é seleccionada e calculada:

**ATRASO TOTAL:** O Atraso Total (*totaldelay*) é Média de Atraso na Fila (*mean*) mais o Atraso no Link (*delayLink*) e é expresso em microsegundos.

**LARGURA DE BANDA DISPONÍVEL:** A Largura de Banda Disponível (*lbd*) é a Largura de Banda do Link menos a Largura de Banda Estimada e é expressa em Kbits

Os valores lidos e calculados nos *links* são armazenados ordenadamente num *Vector* e usados probabilisticamente com um intervalo de confiança de 95% estimando-se a probabilidade de um valor estar dentro de um intervalo com limites inferior e superior. As métricas referentes aos nós (cada nó representa um AS) também são necessárias para o cálculo final dos percursos.

##### 2) Cálculo do Peso das métricas

Por existir mais de um atributo de QoS em cada rota, o riQoS segue a definição de *Peso*, [1] para cada métrica. Estes *Pesos* seguem uma fórmula que se baseia em valores estatísticos.

Seja:  $b_l, b_u$  os valores limite inferior e superior das métricas  
 $\rho$  a probabilidade do valor das métricas estarem entre  $b_l$  e  $b_u$ .  
 $b_m = (b_l + b_u) / 2$  o valor que reflecte a média das métricas  
 $\delta = (b_u - b_l) / 2\rho$  o valor que reflecte a variância das métricas

O *Peso* de ambas as métricas define-se como:

$$\omega_b = b_m - \eta\delta = (b_u + b_l - \eta(b_u - b_l)/\rho) / 2$$

Com:  $\eta > 0$  que reflecte um ajuste entre a média e a estabilidade de ambas as métricas: Largura de Banda e Atraso.

##### 3) Selecção do Caminho (Path Selection)

O algoritmo de comparação e selecção de rotas faz uso do peso de ambos os atributos de Qualidade de Serviço através de seus Pesos para decidir as melhores rotas a serem instaladas na Loc-RIB, na fase 2 do Processo de Decisão. A Tabela 1 apresenta o algoritmo de comparação utilizado no processo de decisão do riQoS. Como as decisões referentes à Qualidade de Serviço devem ter prioridade maior, estas decisões são as primeiras a serem atribuídas nesta extensão ao processo de decisão do BGP.

Condição - C , Verificação/Observação - V	Escolha
V Dadas duas Rotas. Actual e Nova - Verificar se é Nula	
C1 Se Rota Nova é NULA	Rota Actual
V Rota Nova não NULA. Escolher pelo Peso	
Maior peso Largura de Banda e Menor peso Atraso preferidos	
Rota Actual tem > Peso de Largura de Banda que Rota Nova	
C2 Peso do Atraso da Rota Actual é < ou = que o da Rota Nova	Rota Actual
C3 Peso de Atraso da Rota Actual é > que o da Rota Nova	Rota Nova
V Rota Actual tem < Peso de Largura de Banda que rota Nova	
C4 Peso do Atraso da Rota Actual é < que o da Rota Nova	Rota Actual
C5 Peso de Atraso da Rota Actual é > ou = que o da Rota Nova	Rota Nova
V Pesos das Larguras de Banda são iguais nas duas rotas	
Verificar Pesos dos Atrasos. Menor Peso de Atraso é preferido	
C6 Peso de Atraso da Rota Actual é menor que o da Rota Nova	Rota Actual
C7 Peso de Atraso da Rota Actual é maior que o da Rota Nova	Rota Nova
V Ambas as rotas tem Pesos de LB e Atraso iguais	
Segue-se os critérios de selecção do algoritmo BGP escolhendo pela ordem: (1) - Maior Grau de Preferência (DOP) (2) - Menor MED (Multi-Exit Discriminator) (3) - Pela Origem (Interna < Externa) (4) - Pelo menor BGP ID	

Tabela 1 - Processo de comparação e escolha de rotas no riQoS

#### 4) Operação de Junção (Join Operation)

Join Operation é a operação acumulativa de união das rotas escolhidas que definem um percurso para um nó. Esta operação é definida por Xiao [1] para cada métrica (ABI e DelayI). O riQoS usa uma das metodologias definidas para o cálculo da métrica:

**Largura de Banda Disponível - ABI:** Como esta é uma métrica côncava, a largura de banda disponível de uma rota é a mínima de todos os links. Para obter a métrica ABI numa rota, uma forma simplificada é encontrar o valor da LB disponível da rota e calcular a ABI pela definição. No entanto, este método não é praticado no BGP. Ao invés disso, o cálculo da ABI de uma rota é feito unindo a ABI de links individuais ou de rotas internas.

**Atraso de Propagação – DelayI:** O Atraso é uma métrica aditiva correspondendo a soma dos atrasos de todos os links num percurso. Calcular o DelayI de uma rota usando directamente valores instantâneos não é prática do BGP. Em vez disso, é calculado unindo o DelayI de cada link ou de rotas nos ASs.

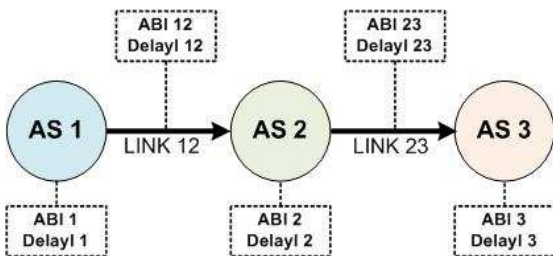


Figura 3 - Utilização de métricas no Join Operation

Dadas duas métricas ABI ou DelayI cujos valores correspondem aos limites inferiores, superiores e  $r$ ó probabilístico para cada.

$$\begin{aligned} ABI1 &= (l_{b1}, l_{b1}, l_{b1}) & DelayI1 &= (d_{l1}, d_{u1}, d_{r1}) \\ ABI2 &= (l_{b2}, l_{b2}, l_{b2}) & DelayI2 &= (d_{l2}, d_{u2}, d_{r2}) \end{aligned}$$

Cada métrica depois de Join Operation define-se como:

$$\begin{aligned} ABI &= ABI1 \oplus ABI2 = (l_{b1}, l_{b1}, l_{b1}) \\ DelayI &= DelayI1 \oplus DelayI2 = (d_{l1}, d_{u1}, d_{r1}) \end{aligned}$$

Onde:

$$\begin{aligned} l_{b1} &= \min(l_{b1}, l_{b2}) \\ l_{b2} &= \min(l_{b1}, l_{b2}) \\ \text{se } l_{b1} < l_{b2} &\rightarrow l_{br} = l_{br1} (1+l_{br2})/2 \\ \text{se } l_{b1} > l_{b2} &\rightarrow l_{br} = l_{br2} (1+l_{br1})/2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{l1} &= d_{l1} + d_{l2} \\ d_{u1} &= d_{u1} + d_{u2} \\ d_{r1} &= d_{r1} \cdot d_{r2} \end{aligned}$$

#### 5) Tabela de Encaminhamento

As tabelas de encaminhamento também sofrem alterações e devem apresentar os correspondentes valores calculados. Analisando a Fig. 3 para o cálculo da operação de Join Operation e supondo os valores no percurso relativamente à métrica ABI:

$$\begin{aligned} ABI1 &= (5000, 7000, 0.9) & ABI12 &= (6000, 7000, 0.85) \\ ABI2 &= (4500, 6000, 0.89) & ABI23 &= (5000, 7000, 0.93) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ABI123 &= ABI1 \oplus ABI12 \oplus ABI2 \oplus ABI23 \oplus \\ &= (5000, 7000, 0.9) \oplus (6000, 7000, 0.85) \oplus ABI2 \oplus ABI23 \\ &= (5000, 7000, 0.81) \oplus (4500, 6000, 0.89) \oplus ABI23 \\ &= (4500, 6000, 0.81) \oplus (5000, 7000, 0.93) \\ &= (4500, 6000, 0.78) \oplus (7000, 8000, 0.9) \\ &= (4500, 6000, 0.74) \end{aligned}$$

O valor de ABI apresentado na tabela do Router do AS3 seria [4500, 6000] = 74. Isto indica que para chegar ao AS1 existem 74% de hipóteses de que ao longo do caminho 3-2-1, os limites de Largura de Banda Disponível estejam entre 4500 e 6000 Kbits.

#### V. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

O riQoS, desenvolvido sobre o ns-BGP para o Network Simulator (NS2), é uma extensão QoS para o encaminhamento interdomínio. Faz uso de atributos BGP para envio de informações referentes a métricas estatísticas de QoS. Desta forma, garante a Escalabilidade e a Heterogeneidade necessária para uma boa extensão ao BGP. Como trabalho futuro sobre esta extensão seria interessante munir um nó para tratamento multi-protocolar com utilização de protocolos Inter e Intra-Domínios em simultâneo, com redistribuição de rotas além do uso de métricas do tipo histograma [1] ou métricas representativas de políticas.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Li Xiao, Jun Wan, King-Shan Lui, and Klara Nahrstedt. "Advertising interdomain QoS routing information". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 22, No. 10, 2004, pp. 1949–1964.
- [2] Y. Rekhter, T. Li and S. Hares, RFC4271 – "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)". January 2006. <http://tools.ietf.org/html/rfc4271>
- [3] Olivier Bonaventure. "Using BGP to distribute flexible QoS information". Internet Draft. IETF. February, 2001.
- [4] E. Crawler, et al. "A Framework for QoS-based Routing in the Internet". RFC 2386, August 1998.
- [5] R. Guerin, S. Kamat, A. Orda, T. Przygienda, and D. Williams, "QoS Routing Mechanisms and OSPF extensions", work in progress, March, 1998.
- [6] ATM Forum Technical Committee. Integrated PNNI (I-PNNI) v1.0 Specification. af-96-0987r1, September 1996.
- [7] G. Cristallo and C. Jacquenet, "Providing Quality of service indication by the BGP-4 protocol: The QoS\_NLRI attribute," Internet Draft, Mar. 2002.
- [8] D. H. Lorenz and A. Orda, "QoS routing in networks with uncertain parameters," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 6, pp. 768–778, 1998.
- [9] R. Guérin and A. Orda, "QoS routing in networks with inaccurate information: Theory and algorithms," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 7, pp. 350–364, June 1999.