

Simulação de Roteamento em Redes IP com QoS

Carlos Frederico M. C. Cavalcanti, *UFOP*, Ricardo Alonso dos Santos Nascimento, *UFOP*, e Daniel Prata Leite Borges, *UFOP*

Abstract—The customer demands for multimedia and real-time applications are rising up the Internet into a new level of guarantees of QoS. This article explains the key steps to provide an effective schema of how to implement QoS routing based on Diffserv and MPLS and explains how to simulate it using the classical NS-2 simulator.

Index Terms—Quality of Service, Internet, Dimensioning, MPLS, Diffserv.

I. INTRODUÇÃO

Na presente geração da Internet, existe uma grande demanda por aplicações de comércio eletrônico, de voz, de tempo real e de multimídia. Para atender a este novo patamar tecnológico, é essencial que a rede suporte diferentes níveis de Qualidade de Serviço (QoS) e cada nível seja associado a um usuário ou a um grupo de usuários distintos.

Pelo fato que o simples aumento de banda não garante as condições necessárias para que essas aplicações sejam executadas na Internet, foram propostas técnicas de Engenharia de Tráfego de tal forma a estender a atual arquitetura dessa rede. Quando uma solução é dita para ser aplicável à rede Internet, significa que é uma solução escalável, isto é, que funciona tanto em uma rede com poucos nós, quanto em uma com centenas de milhares de nós.

Podemos separar dois tipos de ações nesse sentido. A primeira ação diz respeito ao desenvolvimento de ferramentas para prover mecanismos de Qualidade de Serviço na rede IP e a segunda ação considera como usar essas ferramentas de uma forma integrada com o objetivo de prover Qualidade de Serviço fim-a-fim em larga escala, isto é, com um grande número de nós. Podemos exemplificar a primeira ação no protocolo MPLS e na proposta de Serviços Diferenciados e a segunda ação como arquitetura proposta pelo projeto da Internet-2 americana e pelo projeto TEQUILA [14] europeu.

Este artigo considera como ponto principal a funcionalidade do bloco de dimensionamento, assim como proposto pela arquitetura TEQUILA. Esse bloco tem o objetivo de

encontrar rotas explícitas baseado em uma topologia de rede e uma demanda dada por uma matriz de tráfego. As demandas de tráfego são classificadas em AOs (Agregados de Ordem) de acordo com os requisitos de Qualidade de Serviço [5]. Agregados de Ordem são especificações de demandas de tráfego entre um nó de entrada e nó de saída com os mesmos requisitos de Qualidade de Serviço. Ao contrário do que é feito hoje no atual estágio tecnológico da Internet, o dimensionamento de rede permite determinar todas as rotas de uma só vez de tal forma que a Qualidade de Serviço fim-a-fim seja garantida. Estaremos considerando, como cenário, uma rede com grande número de nós, porém dentro do mesmo contexto administrativo, isto é, no mesmo AS¹.

Serviços Diferenciados ou Diffserv [3] implementam garantias quantitativas e qualitativas de qualidade de serviço em uma rede, porém, não garante que todos os pacotes que trafegam entre dois nós seguirão sempre o mesmo caminho (rota). Para tal, são configuradas rotas explícitas usando o protocolo MPLS [4]. Sabendo-se a topologia da rede, a capacidade e os serviços oferecidos em cada enlace e a demanda apresentada através da matriz de tráfego, faz-se o dimensionamento da rede, que é distribuir o tráfego pela rede encontrando-se rotas adequadas para atender toda a demanda.

O bloco de dimensionamento é apresentado como proposto pelo projeto TEQUILA, por ser uma proposta pública e consistente de estender a arquitetura Internet usando MPLS e Serviços Diferenciados. Porém, o conceito de “dimensionamento de rede” ultrapassa a arquitetura TEQUILA e é o termo usado para um bloco funcional que implementa um algoritmo de roteamento capaz de determinar rotas considerando uma rede como um todo, incluindo todas os seus enlaces, nós e recursos disponíveis, conforme o cenário descrito acima, de tal forma a garantir QoS fim-a-fim.

Este artigo tem o objetivo de mostrar como se simula, no Network Simulator - 2, NS-2, [9], um esquema de roteamento baseado no dimensionamento de rede e como se garante QoS fim-a-fim em redes usando MPLS e Serviço Diferenciado. O objetivo dessa tecnologia não é controlar os congestionamentos na rede e sim evitá-los.

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da FAPEMIG, CNPq e Universidade Federal de Ouro Preto.

Carlos Frederico Marcelo da Cunha Cavalcanti, Ricardo Alonso dos Santos Nascimento e Daniel Prata Leite Borges podem ser encontrados na Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Computação, Campus Morro do Cruzeiro s/n, 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil ({cfmcc, ralonso, dprata}@iceb.ufop.br)

¹ AS-Autonomous System ou Sistema Autônomo é um sistema computacional gerenciado pela mesmo administrador, também chamado de autoridade administrativa.

II. MPLS E SERVIÇOS DIFERENCIADOS

MPLS e Serviços Diferenciados são as duas principais ferramentas para se construir uma arquitetura de rede onde pode-se garantir QoS fim-a-fim. Iremos explicar abaixo os pontos dessas tecnologias que são relevantes para o dimensionamento da rede.

Serviços Diferenciados – Diffserv – implementa um esquema de tratamento diferenciado de pacotes. Basicamente, cada pacote é marcado como pertencente a uma classe de Qualidade de Serviço. É através dessa marcação que o pacote é submetido a um tratamento pelos roteadores internos da rede. Cada tipo de serviço implica em um comportamento em cada roteador. Existem 3 tipos de comportamentos, ou PHBs (*Per Hop Behaviour*), que já estão consolidados e são de nosso interesse, a saber: PHB-AF (*Assured Forward*), PHB-EF (*Expedited Forward*) e PHB-BE (*Best Effort*). A Internet, atualmente, só implementa BE. O PHB EF assegura garantias qualitativas, tais como atraso máximo de 0,2 segundos, enquanto o PHB-AF implementa garantias qualitativas. Isso significa que, implementando-se 2 níveis de PHB-AF, pode-se definir que AF-1 possui uma “qualidade” melhor do que AF-2, por exemplo.

MPLS é um protocolo que permite especificar rotas explícitas, isto é, um caminho (conjunto de enlaces) que um determinado fluxo irá seguir.

Ambas ferramentas são importantes para prover QoS em uma rede.

III. DIMENSIONAMENTO - ENTRADAS

A diferença básica de um roteamento baseado em um bloco funcional que denominamos aqui como “dimensionamento” comparado a um roteamento feito por mecanismos atualmente em uso na Internet, a exemplo do roteamento baseado em OSPF [15], é que o primeiro é feito considerando a rede como um todo e o segundo considera apenas os enlaces vizinhos. A idéia do dimensionamento é primordial para prover redes com garantias de QoS fim-a-fim em larga escala.

Para se fazer o dimensionamento da rede deve-se considerar, no mínimo, os seguintes parâmetros de entrada:

- Topologia da Rede.
- Demanda de Entrada.

A. Topologia de Rede

A demanda de entrada representa os requisitos que devem ser supridos pelos recursos providos pela rede. Uma rede é modelada como uma grafo onde os nós são os elementos de redes, como roteadores e *hosts*, e arcos são enlaces. Os enlaces unem dois nós a uma certa velocidade. Se o enlace é bidirecional, representa-se o enlace com dois arcos, cada uma saindo de um nó.

Uma rede é modelada como um grafo dirigido $G=(V,E)$, onde V é um conjunto de nodos e E é um conjunto de ligações. Cada ligação $l \in E$ é especificado pelo par $l=(v_{li}, v_{lo})$ onde v_{li} , v_{lo} são os nodos por onde o tráfego entra e sai respectivamente. Com cada ligação $l \in E$ são associadas os

seguintes parâmetros para cada PHB h ; capacidade do enlace C_l^h ; atraso do enlace d_l^h e probabilidade de perda $p_{l,h}^{\text{loss}}$. Embora o atraso do enlace d_l^h seja a soma dos atrasos de propagação da ligação (o atraso máximo probabilístico ou determinístico é calculado por toda ligação l entre o PHB h) foi assumido o mesmo atraso d_l^h para todos $l \in E$ que se dirigem para o mesmo PHB h . Para efeito de simplificação, não é considerada a probabilidade de perda para o cômputo das rotas.

B. Demanda de Entrada

A demanda de entrada de uma rede é comumente expressa por uma matriz de tráfego. Quando uma rede provê garantias de QoS, geralmente espera-se que estas garantias sejam expressas em descrições denominadas Especificações de Níveis de Serviço (SLS - *Service Level Specifications*) [1]. Essas especificações são geradas através de acordos entre os usuários (clientes) e os provedores dos serviços de rede através de contratos denominados de SLAs (*Service Level Agreement*).

A demanda de tráfego em uma rede com QoS deve ser baseada em uma previsão de tráfego. Essa previsão de tráfego deve considerar as diversas SLS, que deve ser agrupadas (agregadas) conforme suas requisitos de QoS.

A previsão de tráfego provê um agregado de tráfego para o resto do sistema utilizando informações das SLSs inscritas bem como o tráfego medido e dados históricos.

A representação da previsão de tráfego entre os nós de entrada e saída de dados se dá através de uma matriz de tráfego. A matriz de tráfego produzida contém informações sobre banda de ingresso/egresso, atraso e perda de requisitos. Cada agregado de fluxo de tráfego (que é tratado como um único fluxo pela rede) entre um nó de entrada e um nó de saída com o mesmo requisito de QoS é denominado tronco de tráfego ou TT [1],[11]. Assim, cada tronco é uma agregação de um conjunto de fluxos (individuais) de tráfego caracterizado pelos mesmos nodos de egresso e ingresso e requisitos de desempenho. Um conjunto de Tronco de Tráfego com os mesmos requisitos de QoS é denominado Agregado de Ordem (OA – *Ordered Aggregate*). Foram considerados seis tipos de agregados de ordem: EF, AF1-4 e BE, cada um denotando respectivamente o PHB *Assured Forward*, *Expedited Forward* e *Best Effort*.

IV. DIMENSIONAMENTO - OBJETIVOS

O dimensionamento de uma rede tem como principal objetivo prover as rotas onde o tráfego irá ser encaminhado. Assim, para cada TT deve-se ter uma rota (conjunto de enlaces) onde o tráfego deverá passar para percorrer a rede do nó de entrada para o nó de saída.

O problema de dimensionamento de uma rede é um problema de otimização de fluxos de dados em uma rede. Considerando a natureza do problema, podemos definir

algumas funções objetivo. O primeiro requisito que o dimensionamento deverá atender é garantir que os SLSs sejam atendidos pela rede. Geralmente, o parâmetro mais importante de um SLS é a banda passante. Um outro objetivo é que, após satisfeito os requisitos de QoS, faz-se uso de menor uso da rede para atingir os mesmos objetivos, isto é, um segundo objetivo é prover baixo congestionamento na rede evitando sobrecarregar partes da rede deixando outras sub-utilizadas. O algoritmo de dimensionamento foi apresentado em [11] e não será detalhado neste documento.

V. DIMENSIONAMENTO-IMPLEMENTAÇÃO

O Programa de Dimensionamento de Rede é baseado em heurística escrito na linguagem C e utiliza a ferramenta *Stanford GraphBase* [10] para representar e manipular os gráficos. Sua saída é um script OTCL que é utilizando dentro do Network Simulator-2 [9]. Esse simulador é amplamente usado na academia e em empresas para testar protocolos e comportamento de redes IP.

Embora o dimensionamento de rede seja considerado não computável, mais precisamente, NP-completo [12], heurísticas rápidas e adaptativas foram encontradas para construir uma solução considerando o problema da engenharia de tráfego IP. A heurística foi proposta em [11] com resultados satisfatórios. Nós entendemos que a próxima geração da Internet passe pelo problema de dimensionamento independentemente da arquitetura utilizada.

VI. FUNCIONAMENTO DO CONFIGURE_NS.C

Após o programa de dimensionamento ter encontrado as rotas por cada AO, deve-se testar a qualidade da solução, simulando o comportamento da rede. Para tal tarefa, foi idealizado o programa denominado `configure_ns` que será explanado aqui. Este programa funciona como um módulo do programa de dimensionamento e irá percorrer as estruturas que armazenam as informações sobre a estrutura de cada tronco de tráfego por OA, para, no final, gerar um script na linguagem OTCL, que é a linguagem usada como interface do NS-2.

Primeiramente, o programa irá ler a topologia da rede do programa dimensionamento e transformá-la em uma descrição em OTCL com os parâmetros iniciais da simulação de tal forma a servir de entrada para o NS-2. Cabe ressaltar que a capacidade de cada enlace também deverá ser recuperada para refletir a real topologia da rede.

Para cada nó do grafo é criado com o seguinte comando:

```
set n($i) [$ns node]
```

onde `$i` indica qual o nó está sendo criado e `$ns` é a referência para a simulação. Para a criação do enlace, é utilizado o comando:

```
$ns duplex-link $n($i) $n($j) 100Mb
10ms DropTail
```

onde `duplex-link` indica que é um link duplex entre os nodos `$i` e `$j`, com uma banda de passagem de 100Mb, um atraso de 10ms e com a fila usando a política de `DropTail`.

Em um segundo momento, são criados os agentes para a simulação. Para isso podem ser definidos novos agentes, mas, inicialmente, existe apenas um pré-definido. Essa funcionalidade será implementada quando uma interface com o usuário mais bem elaborada for implementada. Os agentes são criados de acordo com os caminhos determinados pelo dimensionamento para cada TT. Também, tem-se a facilidade de determinar quais agentes estão ativos. Um agente tem o seguinte aspecto:

```
1 set tcp [new Agent/TCP]
2 $tcp set class_1
3 set sink [new Agent/TCPSink]
4 $ns attach-agent $n($i) $tcp
5 $ns attach-agent $n($j) $sink
6 $ns connect $tcp $sink
7 set ftp [new Application/FTP]
8 $ftp attach-agent $tcp
9 $ns at 2.4 "$ftp start"
10 $ns at 5.4 "$ns detach-agent $n($i) $tcp ;
    $ns detach-agent $n($j) $sink"
```

Na linha 1 é criado uma conexão `tcp` entre os nodos `$i` e `$j` que são definidos nas linhas 4 e 5. Para o nodo de egresso, no caso o nodo `$j`, é criado um agente `sink`, que é necessário para criar uma conexão TCP. Na linha 6 é feita a ligação dos dois agentes. Na linha 7 é criada uma aplicação que irá gerar o tráfego na rede que, em seguida, é anexada ao agente `tcp`. Nas linhas 9 e 10 são definidos os tempos de início e fim da geração de tráfego.

Após a criação dos agentes, caso o usuário tiver solicitado o dimensionamento com a geração do script com MPLS ativo, são criadas as rotas para os pacotes dentro da rede. Mas para isso deve ser colocado um parâmetro (MPLS) na linha de comando quando o dimensionamento é invocado. Isso também ativa a criação os nodos com o MPLS ativo. As rotas são criadas pelo dimensionamento que define a melhor forma de alocar os recursos, criando uma rede balanceada, privilegiando os pacotes prioritários. As rotas são estáticas mas, devido a tecnologia MPLS, podem ser dinamicamente realocadas caso haja uma interrupção em algum enlace.

Uma linha que define o MPLS tem as seguintes características:

```
$ns at 0.3 "[$n(1) get-module MPLS] make-
explicit-route 6 10_5_9_4_6 1001 -1"
$ns at 0.4 "[$n(1) get-module MPLS] flow-
erlsp-install 6 EF 1001"
```

Na primeira, é criado uma rota explícita do nodo 1 ao nodo 6, passando pelos nodos 10, 5, 9 e 4, até chegar ao 6. Na linha seguinte é instalado um controle de tráfego que implementa o PHB-EF.

Por último, o script é finalizado e a simulação está pronta para ser executada. Para isso invocasse o NS com comando `ns <nome_do_arquivo.tcl>`

VII. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A implementação do “dimensionamento de rede”, como mostrado neste artigo, traz um novo paradigma no roteamento

de redes em larga escala. Como o algoritmo para fazer o dimensionamento de rede pode ter variadas funções objetivas e ser implementado de variadas formas, inclusive por heurísticas, faz-se necessário que haja uma simulação adequada.

Este artigo mostra as principais decisões de projeto e passos para simular programas, como o de dimensionamento, no simulador NS-2.

O trabalho proposto ainda deverá incluir a simulação usando Diffserv, mas observou-se que pode gerar uma simulação por Agregado de Ordem (AO) sem perda de qualidade. Conclui-se, também, que o ponto chave dessa solução não é controlar o congestionamento da rede, mas sim evitá-lo.

Faz parte do projeto a inclusão de uma interface mais amigável, onde o usuário possa escolher quais agentes irão utilizar, qual a quantidade de cada agente bem como o instante que irá iniciar e finalizar, deixando assim a simulação mais personalizável. Espera-se a inclusão do dimensionamento como uma ferramenta adicional os usuários do NS-2, deixando disponível a todos via Internet.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Cavalcanti, Carlos Frederico Marcelo da Cunha; Liotta, Antonio; Pavlou, George; Andrikopoulos, I.; Flegkas P.; Trimintzios, Panos. Tequila Delivery D1.1: Functional Architecture Definition and Top Level Design. 2000. <http://www.ist-tequila.org>
- [2] IETF home page, <http://www.ietf.org>
- [3] K. Nichols, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", RFC2475, 1998.
- [4] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture", RFC3031, January 2001.
- [5] Trimintzios, Panos; Andrikopoulos, I.; Andrikopoulos, George; Cavalcanti, Carlos Frederico Marcelo da Cunha; et. al. An Architectural Framework for Providing QoS in IP Differentiated Services Networks. In: 7TH IFIP/IEEE Integrated Management Symposium (IM'01), 2001, Seattle. Proceedings of the 7th IFIP/IEEE Integrated Management Symposium (IM'01). 2001. <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/G.Pavlou/Publications/Conferencepapers/Trimintzios01b-abstract.html>
- [6] Trimintzios, Panos; Georgiadis, L.; Pavlou, George; Griffin, D; Cavalcanti, Carlos Frederico Marcelo da Cunha; Georgatsos, P; Jacquenet, C. Engineering the Multi-Service Internet: MPLS and IP-based Techniques. In: Proc. of the IEEE International Conference on Telecommunications - ICT'2001-, 2001. <http://citeseer.ist.psu.edu/article/trimintzios01engineering.html>
- [7] G. Apostolopoulos, R. Guerin, and S. Kamat. Implementation and performance measurements of QoS routing extensions to OSPF. In Proceedings of IEEE Infocom, New York, March 1999
- [8] Bruce David and Yakov Rekhter. MPLS: Technology and Applications. Morgan Kaufmann Publishers, 2000
- [9] NS-2 Home Page: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [10] SGB Home Page: <http://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/sgb.html>
- [11] Cavalcanti, Carlos Frederico Marcelo da Cunha;, "Alocação de Recursos em Redes IP com Qualidade de Serviço," Ph.D. dissertation, Departamento de Ciência da Computação., Univ. Federal de Ouro Preto, MG. 2002.
- [12] Wang and Crowcroft, QoS Routing for Supporting Multimedia Applications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol 14 (7), Pages 1288-1297.
- [13] D. Awduche, A. Chu, A. Elwalid, I. Widjaja, and X. Xiao, "A Framework for Internet Traffic Engineering," IETF Draft: draft-ietf-tewg-framework-01.txt, January 2000
- [14] TEQUILA Project Home Page: <http://www.ist-tequila.org/>
- [15] Moy, J, RFC 2328 - OSPF Version 2

Carlos Frederico Marcelo da Cunha Cavalcanti é graduado em Engenharia Elétrica e Eletrônica na PUC-MG (1987), Mestre em Ciência da Computação pelo Departamento de Computação da Unicamp (1993) e doutor em Ciência da Computação pelo Departamento de Computação da UFMG (2002). Carlos Frederico é professor e pesquisador do Departamento de Ciência da Computação (DECOM) da Universidade Federal de Ouro Preto desde 1994, trabalhando na área de provimento de Qualidade de Serviço em redes IP

Ricardo Alonso dos Santos Nascimento e Daniel Prata Leite Borges são graduandos em Ciência da Computação do Departamento de Computação da UFOP. Ricardo e Daniel trabalham como pesquisa no nível de iniciação científica desde 2002, tendo seus trabalhos apoiados pela FAPEMIG e pela UFOP.