

Alocação de Banda Baseada em Teoria dos Jogos para Redes Virtuais

MC918A/MO829A - Teoria dos Jogos Algorítmica

Sergio Ricardo Rodolfo de Sá RA: 161737

Resumo Final

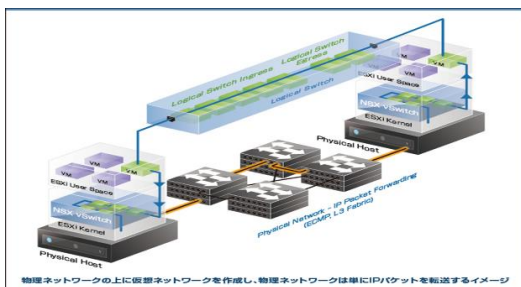
Motivação

A principal motivação para o estudo desse trabalho foi poder estudar a fundo os conceitos de Teoria dos Jogos e possíveis aplicações práticas dentro de um universo virtual de redes de computadores, e validar sua validade. Realizar nas aulas de pós graduação o conceito de Teoria dos Jogos em "Software Defined Network"

Histórico

Do ponto de vista histórico, SDNs têm sua origem na definição da arquitetura de redes Ethane, que definia uma forma de se implementar políticas de controle de acesso de forma distribuída, a partir de um mecanismo de supervisão centralizado [Casado et al. 2009]. Naquela arquitetura, cada elemento de rede deveria consultar o elemento supervisor ao identificar um novo fluxo. O supervisor consultaria um grupo de políticas globais para decidir, com base nas características de cada fluxo, como o elemento de encaminhamento deveria tratá-lo. Essa decisão seria comunicada ao computador na forma da programação de uma entrada em sua tabela de encaminhamento com uma regra adequada para o novo fluxo (que poderia, inclusive, ser seu descarte). Esse modelo foi posteriormente formalizado por alguns dos autores na forma da arquitetura OpenFlow

A iniciativa mais bem sucedida nesse sentido foi, sem dúvida, a definição da interface e do protocolo OpenFlow [McKeown et al. 2008]. Com OpenFlow, os elementos de encaminhamento oferecem uma interface de programação simples que lhes permite estender o acesso e controle da tabela de consulta utilizada pelo hardware para determinar o próximo passo de cada pacote recebido. Dessa forma, o encaminhamento continua sendo eficiente, pois a consulta a tabela de encaminhamento continua sendo tarefa do hardware, mas a decisão sobre como cada pacote deve ser processado pode ser transferida para um nível superior, onde diferentes funcionalidades podem ser implementadas. Essa estrutura permite que a rede seja controlada de forma extensível através de aplicações, expressas em software. A esse novo paradigma, deu-se o nome de Redes Definidas por Software, ou Software Defined Networks (SDN).



Introdução

Nos últimos anos a virtualização de redes atraiu muita atenção no debate de como modelar a nova geração da internet. Prover novos serviços de internet é difícil sem a cooperação de todas as partes interessadas (StackHolders), muitos pesquisadores acreditam que as redes virtuais possam superar o "engessamento" das redes atuais e prover melhorias e inovações.

Os papéis dos Provedores de Serviços de Internet (Internet Service Providers – ISP) são divididos em duas partes:

Provedores de Infraestrutura (Infrastructure Providers – InPs), proveem toda a parte física do ambiente, bem como servidores switches e cabos, responsável por prover um ambiente estável a aplicação e as informações.

Provedores de Serviços (Service Providers – SP), Responsável pelas Redes Virtualizadas (Virtual Network – VN) onde a entrega de uma VN deve ser vista por duas perspectivas que são Maximizar seu ganho através da alocação de recursos do InPs e obter todos os recursos necessários do SP

Problema

A Virtualização de Redes encara um desafio Fundamental. Como Dividir Eficientemente recursos Físicos entre Múltiplas VNs? E também como manter o balanceamento e maximizar seu próprio ganho?

O Service Provider deve obter recursos suficientes competindo com outras VNs ou selecionar o Melhor InPs para evitar assim a concorrência por recursos.

A Teoria dos jogos é um campo aplicado da matemática que analisa situações decisórias interativas, e provê uma ferramenta analítica para prever resultados de interações complexas entre entidades racionais. Devido a complexa interação entre InPs e SP, introduziu-se a teoria dos jogos no esquema de alocação de Banda no ambientes de Redes Virtuais na esperança de melhorar o comportamento eficientemente.

Neste Estudo

Considerará Alocação de Banda baseada em Teoria dos Jogos.

Objetivo:

Alocar Banda entre múltiplas Vans dentro de uma Visão de Jogo não cooperativo.

Modelo do sistema será definido como:

As Variáveis.

Variável	Descrição.
n	Índice dos links físicos
m	Índice das VNs
c_l	Capacidade de banda no link "l"
p_l	Preço da Banda no link físico "l"
β_l	Preço do congestionamento do link Físico "l"
x^k	Banda alocada e taxa do Caminho da VN k
y_i^k	Banda designada para a VN k no link físico
z_i^k	Taxa do Caminho da VN k no Link físico.
w_l^k	Fator de prestificação da VN k no Link físico.

Foi modelada a rede física gerenciada por um único InPs através de um Grafo não direcionado denominado por:

$$G = (N, L)$$

Onde

N é o conjunto dos nós físicos,

L é o conjunto dos links físicos. Representados por:

$$L = \{1, 2, \dots, n\} \quad (n \geq 2)$$

E também C para representar a capacidade de banda no Link Físico.

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$$

De modo a obter a recompensa das VNs no InP define-se o vetor preço como:

$$p = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$$

Outro vetor importante será o é o vetor de Congestionamento $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$

Onde

$$\forall 1 \leq i \leq n, \quad 0 \leq \beta_i \leq 1$$

Sendo 1 o mais Congestionado

As redes virtuais VNs serão definidas por.

$$V = \{1, 2, \dots, m\}$$

Significa que m VNs pode coexistir neste modelo.

Alocação de no link físico fica denominada:

$$y^k = \{y_1^k, y_2^k, \dots, y_n^k\}$$

Restrita em: $\forall 1 \leq i \leq n, \quad 0 \leq y_i^k \leq c_i$

Ainda Defini-se o vetor de precificação no InP dado por:

$$w^k = \{w_1^k, w_2^k, \dots, w_n^k\}$$

Para descrever a carga de trabalho do link Físico, a taxa de caminho usada pela enésima VN é dada por.

$$z^k = \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_n^k\}$$

Restrita por:

$$\forall 1 \leq i \leq n, \quad 0 \leq z_i^k \leq y_i^k$$

E para representar ambos: a banda alocada e a taxa do caminho designada define-se o vetor dado por:

$$x^k = \{y_1^k, y_2^k, \dots, y_n^k, z_1^k, z_2^k, \dots, z_n^k\}$$

Neste modelo a função da recompensa inclui as seguintes partes (são 3):

1- Função utilidade da VN: dada por $U^k(y^k, z^k)$.

2- Função preço da VN: dada por $P_k(y^k)$. A enésima VN deve pagar o valor $p_j w_j^k$ como preço total pela banda alocada no Link j -th, deixando a função assim.

$$P_k(y^k) = \sum_{j=1}^n p_j w_j^k y_j^k$$

3- A Função Congestionamento será usado $C_k(y^k, z^k)$ para medir o custo do congestionamento relativo a banda alocada e a taxa do caminho atual. Ficando.

$$C_k(y^k, z^k) = \sum_{j=1}^n \beta_j y_j^k \left[\frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_j^i}{c_j} - 1 \right] + \left(-\frac{z_j^k}{c_j} \right)$$

Na equação (2) $\left[\frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_j^i}{c_j} - 1 \right] + \left(-\frac{z_j^k}{c_j} \right)$ é definida da seguinte maneira:

Se $\left[\frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_j^i}{c_j} - 1 \right] < \left(-\frac{z_j^k}{c_j} \right)$ então $\left[\frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_j^i}{c_j} - 1 \right] + \left(-\frac{z_j^k}{c_j} \right) = 0$ Implicando que nenhum congestionamento é cobrado

Se $\left[\frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_j^i}{c_j} - 1 \right] \geq \left(-\frac{z_j^k}{c_j} \right)$ então $\left[\frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_j^i}{c_j} - 1 \right] + \left(-\frac{z_j^k}{c_j} \right) = \frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_j^i}{c_j} - 1$ Implicando que o custo do congestionamento é cobrado

- Cobra-se toda VN alocada em um link congestionado.

Assim temos a função pagamento (Payoff) de cada VN.

$$\theta_k(y^k, z^k) = U_k(y^k, z^k) - P_k(y^k) - C_k(y^k, z^k)$$

Modelo de Alocação de Recurso:

Em um jogo não cooperativo é aquele em que os jogadores são incapazes de fazer acordos fora da especialidade modelada no jogo. Neste modelo, Cada VN não se comunica com outra VN para modificar sua estratégia. Assim adota-se o conceito do Equilíbrio de Nash onde todo jogador selecionará uma utilidade que maximizará sua estratégia, dada a estratégia dos outros jogadores. Da perspectiva da VN só há dois modos de aumentar seu ganho.

1- Cada VN é alocada com uma dada banda para rodar sua própria taxa de caminho – Quanto mais melhor

2- Desde que o congestionamento em certos links será absoluto, diminui-se a recompensa de todas as VNs nesses links.

A VN tem que evitar o congestionamento.

Jogadores: $K = \{0, 1, 2, \dots, m\}$ onde o jogador 0 é o InP e $K = 1, 2, \dots, m$ são as VNs.

Espaço de Ação: $P = Q \times P_1 \times P_2 \times \dots \times P_m$ onde $Q = [0, \bar{Q}]$ e P representa o Espaço de Ação da VN.

Denota-se $\bar{Q} = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ para representar a capacidade de banda em cada link físico.

Função de pagamento (recompensa) usa-se θ_k , $\forall k = 1, 2, \dots, m$ para representar a recompensa final de cada VN.

Neste Modelo tenta-se resolver o problema encontrando o Equilíbrio de Nash e provando que o Equilíbrio existe no Seguinte Teorema

Teorema 1: existe um Equilíbrio de Nash para o problema mostrado na Equação (3):

$$\theta_k(y^k, z^k) = U_k(y^k, z^k) - \sum_{j=1}^n p_j w_j^k y_j^k - \sum_{j=1}^n \beta_j y_j^k \left[\frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_i^k}{c_j} - 1 \right] + \left(-\frac{z_j^k}{c_j} \right)$$

Caso Não Haja Congestionamento $\left(-\frac{z_j^k}{c_j} \right) = 0$ ficando a função da seguinte maneira.

$$\theta_k(y^k, z^k) = U_k(y^k, z^k) - \sum_{j=1}^n p_j w_j^k y_j^k - \sum_{j=1}^n \beta_j y_j^k \left[\frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_i^k}{c_j} - 1 \right]$$

O Espaço de Ação do InP é um conjunto fechado em R^n , e a restrição

$$\forall i, \forall k, 0 \leq z_i^k \leq y_i^k \leq c^i$$

O espaço de ação de toda VN também é um conjunto fechado dos de R^n .

Matematicamente as 3 partes de θ_k são contínuas. Assim θ_k é contínuo no Espaço de Ação.

Precisa provar a convexidade de θ_k na equação 5.

Por ser a função de utilidade uma função convexa, e a função de preço uma função linear a convexidade de θ_k depende da funk de congestionamento. Na função congestionamento foca-se apenas na taxa do caminho causada por outras VNs, e denotamos que

$$\alpha_j^k = \frac{\sum_{i=1, i \neq k}^m z_i^k}{c_j} - 1$$

Perceba que α_j^k é uma constante equanto a enésima VN é fixada. Assim $\sum_{j=1}^n \beta_j y_j^k \alpha_j^k$ também é uma função linear. Assim, a função de pagamento θ_k é uma função convexa. Portanto o Equilíbrio de Nash Existe.

Assim foi desenvolvido o seguinte algoritmo (ALGORITMO 1) para implementar o modelo mencionado e atingir o Equilíbrio de Nash, auxiliado pelo conceito de interação.

Algorithm 1 Bandwidth allocation scheme based on the non-cooperative game model

```

State0 represents the initial bandwidth allocation
while Statei ≠ Statei-1 (The Nash Equilibrium isn't arrived) do
  Compute the i+1-th iteration
  for Every VN in the model do
    Find the best response by solving the problem stated in Equation (6)
  end for
  The result of the i+1-th iteration is denoted as Statei+1
end while

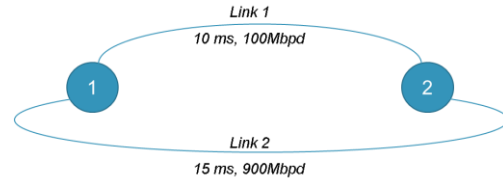
```

Vetor $State_i = \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^m\}$ na alocação de banda de todas as VNs depois de i interações. Inicialmente são alocados recursos para todas VNs no $State_0$, nas interações as respostas de cada VN é atualizada uma a uma com base nas situação de alocação de Banda Gerada.

Após encontrar a melhor resposta para todas VNs, finaliza-se a interações e a alocação de banda pode ser atualizada para $State_{i+1}$. Finalmente conseguiu-se o estado convergente o qual é o resultado esperado do modelo.

Alocação dos Recursos

Baseado no algoritmo apresentado anteriormente o experimento foi realizado usando-se o ambiente do MATLABe focando na convergência do Equilíbrio de Nash. Neste Experimento foi Utilizado a seguinte topologia.



- Link 1 – Baixa Banda, pequeno atraso de propagação
- Link 2 – Banda Alta, grande atraso de propagação.
- Topologia Simples: distingue a preferência de duas classe de trafego
 1. - Sensível ao Atraso.
 2. - Sensível a taxa de transferência.
- Aplica-se duas VNs com diferentes objetivos.
 1. VN1 – usada para um trafego sensível ao atraso.
 2. VN2 – usada para um trafego sensível a taxa de Transferência

Claramente a VN1 preferirá o link1 e a VN2 o Link2.

- VN1 Tentará minimizar a média de atraso fim a fim com a seguinte função:

$$\sum_{j=1}^n z_j^k \left(l_j + l_0 \exp \left(\frac{z_j^k}{y_j^k} \right) \right)$$

Onde l_j é o atraso de propagação no link l , $l_0 = 1ms$ é o atraso fixo em cada link, e $l_0 \exp \left(\frac{z_j^k}{y_j^k} \right)$ atraso da fila como função da utilização do link.

- A Vn2 tenta minimizar

$$\sum_{j=1}^n \log(z_j^k) - q \sum_{j=1}^n \exp \left(\frac{z_j^k}{y_j^k} \right)$$

Onde VN2 maximiza sua Utilidade como função logarítmica de sua taxa de caminho e $q= 0.5$ mantém o balanço entre sua máxima utilidade e mínimo congestionamento.

- Define-se a função utilidade de ambas as VNs a seguir:

$$U_1(y^1 z^1) = - \sum_{j=1}^2 z_j^1 \left(l_j + l_0 \exp \left(\frac{z_j^1}{y_j^1} \right) \right)$$

$$U_2(y^2, z^2) = \sum_{j=1}^2 \log(z_j^2) - q \sum_{j=1}^2 \exp\left(\frac{z_j^2}{y_j^2}\right)$$

Como: $U_1(y^1, z^1)$ e $U_2(y^2, z^2)$ são funções Convexas, de acordo com o Teorema 1, o Equilíbrio de Nash Existe.

Estudo da performance

Parâmetros:

Assumiu-se 600Mbps para cada VN como capacidade máxima, a capacidade final de banda para cada VN é de 500Mbps no link físico e a capacidade do link físico é de 1000Mbps. Configurou-se inicialmente $\beta_1=1$ e $\beta_2=0,8$ implicando que o Link1 é mais importante, configurou-se também o fator de preço para as VN1 e VN2 como $w^1=(1,10)$ e $w^2=(10,1)$ e usou-se o Algoritmo para demonstrar a convergência do Equilíbrio de Nash.

Os Resultados para essa experiência se deu Quando o congestionamento acontece em ambos links, VN1 inicialmente com 130Mbps no link1 e 470Mbps no link2, VN2 inicialmente com 110Mbps no link1 e 490Mbps no link2

Depois de uma interação: VN1 é alocada com toda banda do link1 e 420Mbps no link2 a VN2 fica com 500Mbps no link 2, Isto se dá devido a grande diferença entre o fator precificação e propriedades de atraso dos dois links. A convergência do Equilíbrio de Nash é demonstrada e o Algoritmo encontrou este ponto de Equilíbrio

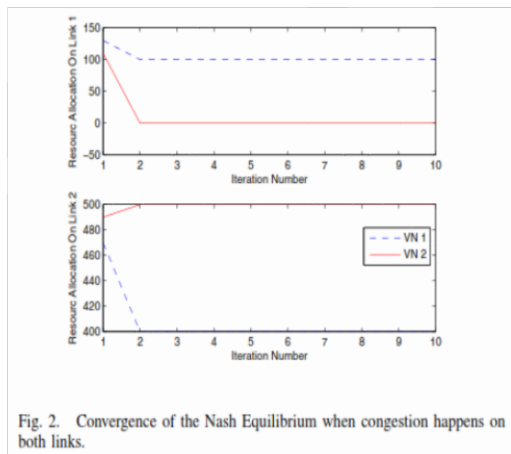


Fig. 2. Convergence of the Nash Equilibrium when congestion happens on both links.

Na experiência 2 Os Resultados ficaram da seguinte forma: VN1 inicialmente com 30Mbps e a VN2 inicialmente com 90Mbps

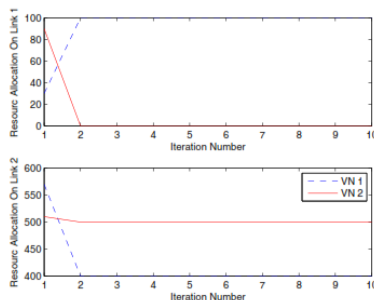


Fig. 3. Convergence of the Nash Equilibrium when congestion happens only on the second link.

Novamente o algoritmo encontra o equilíbrio e confirma o fato de haver um Equilíbrio de Nash independente do valor inicial

Conclusão:

Foram introduzidos a Teoria dos jogos para análise de interações complexas entre InPs e SPs, focando um comportamento eficiente através de múltiplas VNs. Neste modelo um InPs e múltiplas SPs alcançam uma eficiente alocação de banda dentro do conceito de jogos não cooperativos. Propôs-se um algoritmo para resolver tais modelos e demonstrar a convergência e eficiência provados em experimentos, onde encontrou-se o Equilíbrio de Nash nas interações de Redes Virtuais.

No futuro focar em Modelos com múltiplos InPs e SPs

Bibliografia

Nisan, N., Roughgarden, T., Tardos, E., & Vazirani, V. V. (Eds.). (2007). *Algorithmic game theory* (Vol. 1). Cambridge: Cambridge University Press.

Casado, M., Erickson, D., Ganichev, I. A., Griffith, R., Heller, B., Mckeown, N., Moon, D., Koponen, T., Shenker, S., and Zarifis, K. (2010a). Ripcord: A modular platform for data center networking. EECs Department Technical Report UCB/EECS-2010-93, University of California, Berkeley.

Chowdhury, N. M. "Identity management and resource allocation in the network virtualization environment." (2009).

Bauso, Dario. "Game theory: models, numerical methods and applications." *Foundations and Trends® in Systems and Control* 1.4 (2014): 379-522.

Tutschku, K., Zinner, T., Nakao, A., & Tran-Gia, P. (2009). Network virtualization: Implementation steps towards the future internet. *Electronic Communications of the EASST*, 17, 1-14.

Anderson, T., Peterson, L., Shenker, S., & Turner, J. (2005). Overcoming the Internet impasse through virtualization. *Computer*, 38(4), 34-41.

Turner, J. S., & Taylor, D. E. (2005, December). Diversifying the internet. In *Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM'05. IEEE* (Vol. 2, pp. 6-pp). IEEE.

Feamster, N., Gao, L., & Rexford, J. (2007). How to lease the Internet in your spare time. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 37(1), 61-64.

Botero, J. F., & Hesselbach, X. (2009, September). The bottlenecked virtual network problem in bandwidth allocation for network virtualization. In *Communications, 2009. LATINCOM'09. IEEE Latin-American Conference on* (pp. 1-5). IEEE.

Marquezan, C. C., Nobre, J. C., Granville, L. Z., Nunzi, G., Dudkowski, D., & Brunner, M. (2009, June). Distributed reallocation scheme for virtual network resources. In *Communications, 2009. ICC'09. IEEE International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.

Bibliografia

Nisan, N., Roughgarden, T., Tardos, E., & Vazirani, V. V. (Eds.). (2007). *Algorithmic game theory* (Vol. 1). Cambridge: Cambridge University Press.

Casado, M., Erickson, D., Ganichev, I. A., Griffith, R., Heller, B., Mckeown, N., Moon, D., Koponen, T.,

Shenker, S., and Zarifis, K. (2010a). Ripcord: A modular platform for data center networking. EECS Department Technical Report UCB/EECS-2010-93, University of California, Berkeley.

Chowdhury, N. M. "Identity management and resource allocation in the network virtualization environment." (2009).

Bauso, Dario. "Game theory: models, numerical methods and applications." *Foundations and Trends® in Systems and Control* 1.4 (2014): 379-522.

Tutschku, K., Zinner, T., Nakao, A., & Tran-Gia, P. (2009). Network virtualization: Implementation steps towards the future internet. *Electronic Communications of the EASST*, 17, 1-14.

Anderson, T., Peterson, L., Shenker, S., & Turner, J. (2005). Overcoming the Internet impasse through virtualization. *Computer*, 38(4), 34-41.

Turner, J. S., & Taylor, D. E. (2005, December). Diversifying the internet. In *Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM'05. IEEE* (Vol. 2, pp. 6-pp). IEEE.

Feamster, N., Gao, L., & Rexford, J. (2007). How to lease the Internet in your spare time. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 37(1), 61-64.

Botero, J. F., & Hesselbach, X. (2009, September). The bottlenecked virtual network problem in bandwidth allocation for network virtualization. In *Communications, 2009. LATINCOM'09. IEEE Latin-American Conference on* (pp. 1-5). IEEE.

Marquezan, C. C., Nobre, J. C., Granville, L. Z., Nunzi, G., Dudkowski, D., & Brunner, M. (2009, June). Distributed reallocation scheme for virtual network resources. In *Communications, 2009. ICC'09. IEEE International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.