

Utilizando DCOP para Modelar o Problema de Alocação de Redes Virtuais

Alexander R. Gularte, Odorico Machado Mendizabal,
Raquel de Miranda Barbosa, Diana F. Adamatti

¹Programa de Pós Graduação em Computação – Centro de Ciências Computacionais
– Universidade Federal do Rio Grande (FURG) – Rio Grande – RS – Brazil

{alexgularte, odoricomendizabal, raquelmbarbosa, dianaadamatti}@furg.br

Abstract. *Distributed Constraint Optimization Problem (DCOP) is a formalism that is widely used for coordination in multiagent systems and has distributed, robust and scalable algorithms. Virtual Networks (VN) offer a flexible and economic approach to deploy customer suited networks. However, defining how resources of a physical network are used to support VNs demands is a NP-hard problem. This work presents a modeling of the VN allocation problem using DCOP with factor graphs.*

Resumo. *Problema de Otimização de Restrição Distribuída (DCOP) é um formalismo amplamente utilizado para coordenação de Sistemas Multiagente e possui algoritmos distribuídos, robustos e escaláveis. Redes Virtuais (RV) oferecem uma forma flexível e econômica para implantar redes adequadas aos clientes. Entretanto, definir como os recursos de uma rede física são usados para suportar demandas das RVs é um problema NP-hard. Este trabalho apresenta uma modelagem do problema de alocação de RVs utilizando DCOP com grafos-fatores.*

1. Introdução

Virtualização de redes consiste em compartilhar recursos de uma rede física entre várias redes virtuais heterogêneas. Nesse processo, os recursos de hardware dos roteadores (ex. CPU, Memória) são compartilhados por nós virtuais. No caso dos links físicos, a banda é compartilhada entre diferentes links virtuais. Conhecido na literatura por *Virtual Network Embedding (VNE) Problem*, o mapeamento de redes virtuais em redes físicas é um dos principais desafios da virtualização de redes. Esse problema apresenta uma complexidade *NP-Hard* e a maioria das abordagens presentes na literatura é centralizada, o que gera problemas de escalabilidade, visto que o número de elementos mapeados costuma ser elevado [Fischer et al. 2013]. A alocação de uma mesma rede virtual pode ser realizada por diferentes fornecedores de infraestrutura (InterInP) ou por um mesmo fornecedor (IntraInP).

O formalismo DCOP (Distributed Constraint Optimization Problems) é utilizado para coordenação de Sistemas Multiagente (SMA) e vem ganhando destaque na literatura pela robustez e escalabilidade. Um DCOP é formalmente definido como a tupla (X, D, C, A, α) , onde $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ é um conjunto de n variáveis, $D = \{D(x_1), D(x_2), \dots, D(x_n)\}$ um conjunto de domínios discretos no qual cada elemento corresponde ao domínio de uma variável, C um conjunto de funções de utilidade, A o conjunto de agentes e α o

mapeamento de agentes e variáveis. Encontrar uma solução de utilidade máxima para um DCOP também é um problema *NP-Hard* [Modi et al. 2005].

Os dois problemas apresentados, DCOP e alocação de redes virtuais, possuem uma série de características em comum. Ambos são problemas de otimização e, quando abordagens distribuídas são adotadas, o tamanho e o número de mensagens devem ser restritos. Atualmente, a literatura apresenta apenas um algoritmo distribuído para alocação de redes virtuais IntraInP [Houidi et al. 2008]. O trabalho de Houidi et al. utilizou com êxito a abordagem multiagente para resolver problemas de alocação de redes virtuais.

O principal objetivo deste trabalho é modelar o problema de alocação de redes virtuais através de DCOPs. Essa modelagem possibilita estender, para o contexto da alocação de redes virtuais, os recentes avanços que a comunidade científica vem alcançando no desenvolvimento de algoritmos distribuídos para DCOP.

Inicialmente será apresentado na Seção 2, a proposta de Houidi et al. que consiste, até o momento, na única abordagem distribuída para alocação de redes virtuais IntraInP. A Seção 3 apresenta a representação de DCOP com grafos-fatores. Na Seção 4 é demonstrado como o problema de alocação de redes virtuais pode ser modelado por DCOP. Finalmente, a Seção 5 apresenta as conclusões do trabalho.

2. Mapeamento Distribuído IntraInP Baseado em SMA

Em [Houidi et al. 2008] foi proposto o primeiro algoritmo distribuído para mapeamento de redes virtuais e único IntraInP. Essa abordagem é baseada em SMA onde cada nó físico executa um agente que é responsável por implementar o algoritmo de mapeamento. A estratégia adotada se baseia em dividir a rede virtual em uma topologia *hub-and-spoke*. Um *hub* é um nó central que se conecta com múltiplos nós adjacentes denominados *spokes*. Os *spokes* também podem representar *hub* de outros clusters. Então, o mapeamento da rede virtual se resume em mapear sequencialmente os clusters *hub-and-spoke*.

O algoritmo multiagente garante a negociação e sincronia entre os nós físicos. O padrão de comunicação ACL (*Agent Communication Language*) é utilizado para troca de mensagens entre os nós físicos representados por agentes. O framework JADE é utilizado para implementar os agentes responsáveis por executar o algoritmo distribuído.

3. Representação de DCOPs com Grafos-Fatores

Uma das formas utilizadas para representar um DCOP são os grafos-fatores, que consistem em grafos bipartidos. Um grafo bipartido é composto por arestas não direcionais e dois conjuntos de nós. Nesses grafos, cada aresta conecta nós de conjuntos diferentes. No caso dos grafos-fatores, um conjunto de nós representa as variáveis das funções (nós de variáveis), enquanto os outros nós representam as funções (nós de fatores). As arestas conectam as variáveis às funções sempre que uma variável for argumento para uma função. Uma aresta existe entre um nó fator e um nó variável se, e somente se, a variável é um argumento para a função representada pelo nó fator. A Figura 2 apresenta um exemplo de grafo-fator com cinco variáveis ($x_{1,1}, x_{2,2}, x_{1,3}, x_{2,1}, x_{1,2}$) e quatro funções (f_A, f_D, f_B, f_C).

A representação baseada em grafos-fatores permite utilizar o algoritmo soma-máxima [Farinelli et al. 2008] e suas evoluções, que vêm recebendo grande atenção por parte da comunidade científica por apresentar boa performance e escalabilidade. Enquanto, a maioria dos algoritmos para DCOP troca um número exponencial de pequenas

mensagens ou poucas mensagens que crescem exponencialmente, no algoritmo soma-máxima, os processos trocam pequenas funções apenas com seus vizinhos diretos.

4. Modelagem com DCOP

O processo de alocação de redes virtuais pode ser dividido em duas etapas: mapeamento de nós e mapeamento de links. Cada etapa produz um DCOP que pode ser resolvido pelo algoritmo soma-máxima. A primeira etapa consiste em alocar os nós virtuais em nós físicos. Em seguida, alocam-se os links virtuais em caminhos físicos.

4.1. Alocação de Nós Virtuais

O processo de alocação de redes virtuais inicia com a descoberta dos nós físicos candidatos a hospedar os nós virtuais¹. Cada nó virtual n_{v_i} é representado por uma variável x_i , cujo domínio $D(x_i)$ é um conjunto formado pelos nós físicos candidatos a hospedá-lo. Assim, o valor definido para x_i estabelece o(s) nó(s) físico(s) que pode(m) hospedar n_{v_i} . As funções do DCOP representam as restrições no uso dos recursos físicos.

Cada nó físico n_{f_j} tem uma função de utilidade associada f_j , que é inversamente proporcional à quantidade de recursos fornecida por n_{f_j} para atender os seus nós virtuais hospedados. Em outras palavras, quanto menor o stress gerado nos nós físicos, maior será a utilidade produzida. Então, ao aplicar o algoritmo soma-máxima, a solução produzida será aquela que tenta maximizar o somatório das utilidades dos nós físicos, ou seja, distribuir com eficiência os recursos físicos entre os elementos virtuais.

Uma vez definidas as variáveis e funções, pode-se criar o grafo-fator para executar o algoritmo soma-máxima. Os nós virtuais serão representados por nós de variável e os nós físicos por nós de função.

As Figuras 1 e 2 mostram um exemplo dessa modelagem. A Figura 1 mostra um exemplo de problema de alocação de redes virtuais, onde uma rede física com quatro nós recebe duas requisições de redes virtuais com três e dois nós, respectivamente. Conforme ilustra a figura, cada nó virtual possui um conjunto de nós físicos candidatos à hospedagem. Esses candidatos são selecionados com base em restrições de localização geográfica. Por exemplo, o nó 3 da rede virtual 1 pode ser alocado tanto ao nó físico B quanto ao D.

A Figura 2 mostra o grafo-fator resultante do problema apresentado na Figura 1. Cada nó virtual originou um nó de variável cujo domínio é formado pelos nós físicos capazes de alocar o nó virtual. Por exemplo, o nó virtual 3 da primeira rede virtual pode ser alocado ao nó físico B ou D. Então, foi criado um nó de variável $x_{1,3}$ com domínio $\{D, B\}$.

Cada nó físico possui um nó de função correspondente, onde uma função de utilidade descreve o stress produzido sobre o nó físico em relação às possíveis alocações. Por exemplo, o nó físico C recebeu requisição de alocação dos nós virtuais $VN_{2,1}$ e $VN_{1,2}$. Então, foi criado um nó de função f_C com uma função de utilidade que possui como parâmetro as variáveis $x_{2,1}$ e $x_{1,2}$. Dependendo do valor atribuído às variáveis $x_{2,1}$ e $x_{1,2}$ a utilidade resultante da função f_C poderá ser maior ou menor.

¹Neste trabalho esta etapa é omitida. Assume-se a pré-existência de um método capaz de realizar a seleção de candidatos com base em restrições (ex. restrições geográficas).

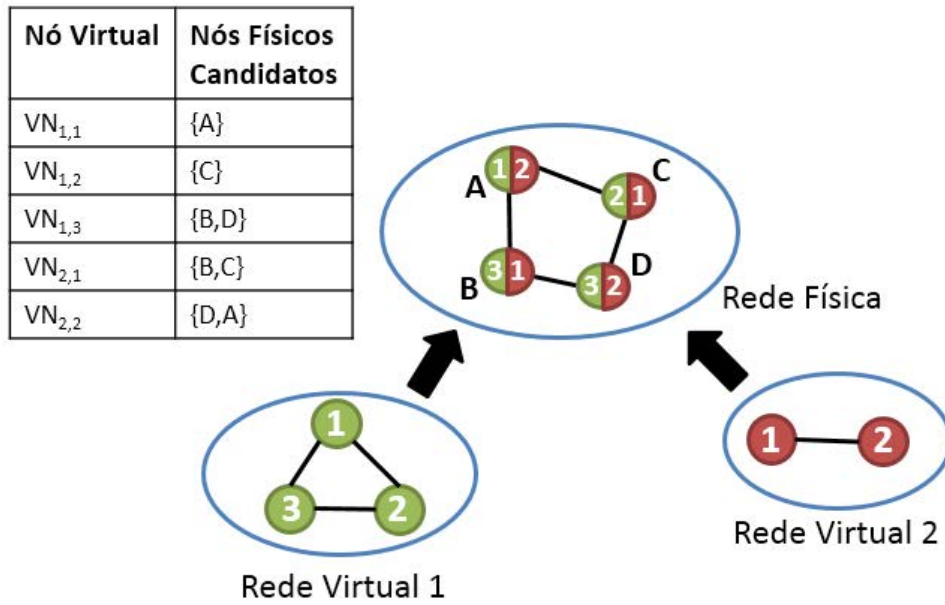


Figura 1. Exemplo de Problema de Alocação de Nós Virtuais

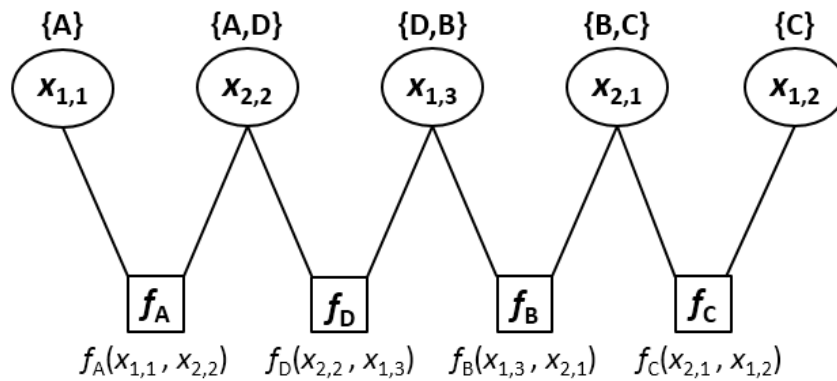


Figura 2. Grafo-fator

4.2. Alocação de Links Virtuais

Os links virtuais devem ser mapeados em caminhos da rede física. Cada caminho é formado por um conjunto acíclico de links físicos que conectam dois nós físicos. Esse problema pode ser modelado através de um DCOP seguindo a mesma lógica utilizada no mapeamento de nós, que é utilizar variáveis para representar elementos virtuais e funções para representar a utilidade dos recursos físicos. Assim, o algoritmo aplicado tentará otimizar o uso de recursos, permitindo que um maior número de elementos virtuais sejam adicionados à mesma rede física.

A Figura 3 mostra um exemplo de problema de alocação de links, formado por uma rede virtual e uma rede física. Como mostra a figura, os nós virtuais 1, 2 e 3 foram alocados aos nós físicos A, C e D, respectivamente. Para atender o link virtual $l_{v_{1,2}}$ só existe um caminho possível na rede física, que é formado pelo link físico $l_{f_{AC}}$. O link virtual $l_{v_{1,3}}$ pode ser alocado em dois caminhos possíveis. O primeiro é formado por dois links físicos: $l_{f_{AC}}$ e $l_{f_{CD}}$. O segundo caminho possível é formado por três links físicos: $l_{f_{AC}}$, $l_{f_{CB}}$ e $l_{f_{BD}}$.

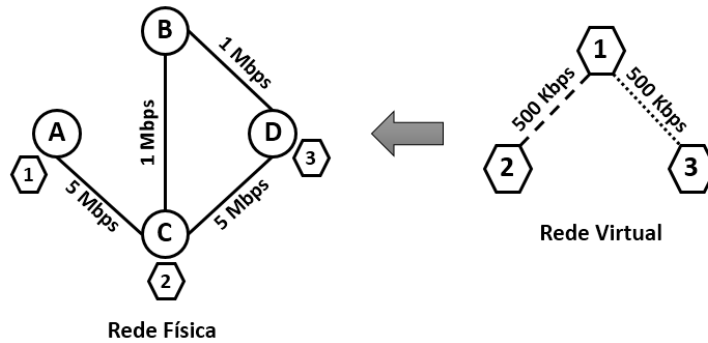


Figura 3. Cenário Exemplo

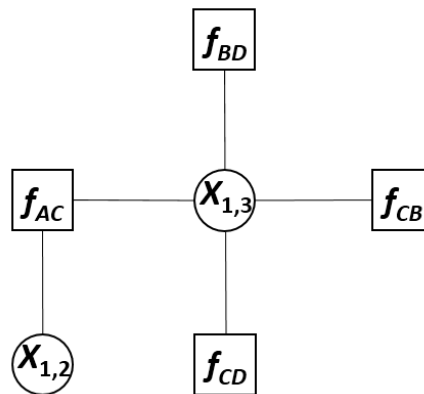


Figura 4. Grafo-fator

A primeira etapa para resolver o problema com DCOP consiste em definir as variáveis. Como a rede virtual é composta por dois links ($l_{v_{1,2}}$ e $l_{v_{1,3}}$), devem ser criadas duas variáveis, uma para cada link: $x_{1,2}$ e $x_{1,3}$. Os domínios das variáveis são definidos a partir do conjunto de possíveis caminhos: $x_{1,2} = \{AC\}$ e $x_{1,3} = \{ACD, ACBD\}$. Em seguida, define-se uma função de utilidade para cada link físico: $f_{AC}(x_{1,2}, x_{1,3})$, $f_{CD}(x_{1,3})$, $f_{CB}(x_{1,3})$, $f_{BD}(x_{1,3})$. A função f_{AC} possui como parâmetro as variáveis que representam links virtuais alocáveis a pelo menos um caminho formado pelo link físico $l_{f_{AC}}$. As demais funções são definidas seguindo essa mesma lógica. A Figura 4 mostra o grafo-fator do DCOP gerado.

5. Conclusão

Um SMA é composto por um conjunto de agentes que trabalham de forma coordenada. Nesses sistemas, um problema pode ser resolvido de maneira distribuída com cada agente sendo capaz de resolver um subproblema. Para que isso ocorra os agentes precisam coordenar a realização de suas tarefas em conjunto. Uma das formas de realizar a coordenação dos agentes é através de abordagens baseadas em DCOP.

Neste trabalho foi apresentada uma abordagem para resolver o problema de alocação de redes virtuais baseada em DCOP, onde o mapeamento de nós e links é realizado em duas etapas. Inicialmente, os nós virtuais, físicos e as relações de candidatos são utilizados para criar uma representação em grafo-fator para o problema. Essa

representação permite resolver o problema através do algoritmo soma-máxima. Em seguida, a solução é utilizada como entrada para a fase de mapeamento de links, que também pode ser resolvido através da modelagem por grafos-fatores.

Diversos trabalhos vem sendo desenvolvidos para solucionar o problema de alocação de redes virtuais em duas etapas separadas [Botero et al. 2012] , [Nogueira et al. 2011], [Chowdhury et al. 2012]. Contudo, a maioria deles baseia-se em métodos centralizados que acabam sofrendo problemas de escalabilidade . O trabalho de Houidi et al. [Houidi et al. 2008] consiste na única abordagem capaz de realizar alocação distribuída de redes virtuais em uma mesma rede física. Apesar de distribuída, essa abordagem ainda apresenta pouca escalabilidade uma vez que os nós precisam se comunicar com todos os demais para manter um conhecimento global do sistema atualizado.

Em [Gularte 2014] a modelagem apresentada neste trabalho foi formalmente verificada utilizando a técnica de verificação de modelos. Os resultados obtidos permitiram concluir que o método atende um conjunto de propriedades capazes de descrever o adequado comportamento de algoritmo de alocação de nós virtuais.

Referências

- Botero, J., Hesselbach, X., Fischer, A., and Meer, H. (2012). Optimal mapping of virtual networks with hidden hops. *Telecommunication Systems*, 51(4):273–282.
- Chowdhury, M., Rahman, M. R., and Boutaba, R. (2012). Vineyard: Virtual network embedding algorithms with coordinated node and link mapping. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 20(1):206–219.
- Farinelli, A., Rogers, A., Petcu, A., and Jennings, N. R. (2008). Decentralised coordination of low-power embedded devices using the max-sum algorithm. In *Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems - Volume 2, AAMAS '08*, pages 639–646, Richland, SC. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
- Fischer, A., Botero, J., Beck, M., De Meer, H., and Hesselbach, X. (2013). Virtual network embedding: A survey. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, PP(99):1–19.
- Gularte, A. R. (2014). Alocação de redes virtuais baseada em otimização de restrição distribuída. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Houidi, I., Louati, W., and Zeghlache, D. (2008). A distributed virtual network mapping algorithm. In *Communications, 2008. ICC '08. IEEE International Conference on*, pages 5634–5640.
- Modi, P. J., Shen, W.-M., Tambe, M., and Yokoo, M. (2005). Adopt: Asynchronous distributed constraint optimization with quality guarantees. *Artificial Intelligence*, 161(1):149–180.
- Nogueira, J., Melo, M., Carapinha, J., and Sargento, S. (2011). Virtual network mapping into heterogeneous substrate networks. In *Proceedings of the 2011 IEEE Symposium on Computers and Communications, ISCC '11*, pages 438–444, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.