

Escalonamento de Workflows em Nuvens Híbridas *

Luiz Fernando Bittencourt, Edmundo R. M. Madeira

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Av. Albert Einstein, 1251 - 13083-852 – Campinas – SP – Brasil

{bit,edmundo}@ic.unicamp.br

Resumo. *Após o amadurecimento das grades computacionais, o paradigma de nuvens computacionais surgiu como o novo tópico a ser desenvolvido em sistemas distribuídos. Neste artigo abordamos o problema de escalonamento de workflows representados por grafos acíclicos direcionados (DAGs) em nuvens do tipo Infrastructure as a Service (IaaS) híbridas. Apresentamos uma breve introdução ao tema e descrevemos resultados alcançados através de um algoritmo que considera deadlines e custos monetários para execução de workflows em nuvens híbridas.*

1. Introdução

Nuvens computacionais são geralmente classificadas em três diferentes tipos: software as a service (SaaS), platform as a service (PaaS), e Infrastructure as a Service (IaaS). O modelo de de infraestrutura como serviço é mais genérico, onde a nuvem disponibiliza ao consumidor recursos computacionais e privilégios administrativos sobre eles. De maneira simplificada, podemos entender esse modelo como um conjunto de servidores virtuais acessíveis através da Internet, o que vem sendo um grande foco de pesquisas em gerência e otimização [Zhang et al. 2010]. Uma nuvem IaaS pode ser classificada em três tipos: (i) pública, que oferece recursos virtualizados no modelo de pagamento pelo uso; (ii) privada, ou nuvem particular, que pode ser vista como uma grade computacional virtualizada; e (iii) híbrida, que combina nuvens privadas e públicas.

2. Problema e Resultados

Nuvens híbridas tem sido utilizadas para executar diferentes tipos de aplicação. Entre os diferentes tipos, os *workflows* têm um papel importante em processos de diversas áreas fundamentais da ciência, como Física, Química, Biologia e Ciência da Computação. Para que os recursos computacionais de uma nuvem possam ser bem utilizados, o escalonamento das tarefas a serem executadas é um fator importante. Em especial, o escalonamento em nuvens híbridas pode trazer ao usuário da nuvem um bom aproveitamento dos recursos locais da nuvem privada e a utilização da elasticidade proporcionada pela nuvem pública quando a demanda exceder a capacidade dos recursos privados. Uma questão encontrada por usuário em tais sistemas é: dadas as demandas atuais, a capacidade dos recursos da nuvem privada, e as capacidades e custos dos recursos das nuvens públicas disponíveis, quais são os melhores recursos para serem requisitados à nuvem pública e quais tarefas devem ser enviadas para recursos pagos?

A pergunta delineada acima visa resolver um problema de decisão relacionado ao escalonamento. A decisão de quais tarefas enviar aos recursos computacionais públicos,

*Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPESP (09/15008-1).

e portanto pagos, invariavelmente terá implicações no orçamento e no tempo de execução das aplicações. Atualmente estão surgindo trabalhos que aplicam técnicas de escalonamento de tarefas em nuvens híbridas considerando aplicações que possuem *deadlines* ([Assunção et al. 2010], [Van den Bossche et al. 2010], [Vecchiola et al. 2011], [Bittencourt and Madeira 2011]).

Em nosso trabalho [Bittencourt and Madeira 2011], apresentamos *HCOC: A Cost Optimization Algorithm for Workflow Scheduling in Hybrid Clouds*. O algoritmo proposto realiza um escalonamento inicial do *workflow* nos recursos da nuvem privada com o intuito de checar se o *deadline* é satisfeito. Caso não seja, o algoritmo inicia o processo de decidir quais recursos serão requisitados à nuvem pública. Essa decisão é baseada no desempenho, custo, quantidade de *cores* e número de tarefas a serem escalonadas na nuvem pública. Com essas variáveis, o algoritmo determina quais tarefas (ou serviços) componentes do *workflow* devem ser enviadas para execução em recursos pagos para que o *deadline* seja obedecido visando a minimização dos custos. Sejam \mathcal{R} o conjunto de recursos da nuvem privada e \mathcal{H} o conjunto de recursos da nuvem híbrida. O HCOC é baseado nos seguintes passos:

1. Escalonamento inicial: escalona o *workflow* na nuvem privada \mathcal{R} utilizando uma dada heurística.
2. Enquanto o escalonamento não obedecer o *deadline*:
 - Seleciona tarefas para re-escalonar;
 - Seleciona recursos das nuvens públicas para compor a nuvem híbrida \mathcal{H} ;
 - Re-escalonar tarefas selecionadas em \mathcal{H} .

Os dois passos principais do algoritmo são a seleção de tarefas a serem re-escalonadas e a seleção de recursos para compor a nuvem híbrida. Enquanto o primeiro decide quais tarefas devem ter seu tempo de execução reduzido pela utilização de recursos mais poderosos da nuvem pública, o segundo determina o desempenho e custos envolvidos no novo escalonamento.

A Figura 1 mostra que o HCOC é capaz de reduzir o *makespan* quando comparado ao escalonamento da aplicação Montage somente na nuvem privada, ao mesmo tempo que reduz custos quando comparado ao escalonamento guloso que utiliza recursos das nuvens privada e pública. Quando o *deadline* está mais próximo do tamanho do caminho crítico do DAG ($\mathcal{D} = 1.5 \times CP$), HCOC apresentou um *makespan* médio próximo ao da abordagem gulosa, entretanto com custo menor. Com o aumento do *deadline*, HCOC reduz os custos, conseqüentemente aumentando o *makespan*. Dessa forma, o usuário é capaz de controlar custos através do ajuste do tempo de execução desejado para determinada aplicação. De forma geral, o algoritmo reduz os custos de execução na nuvem pública de acordo com o aumento do tempo de execução desejado pelo usuário.

Ainda, em alguns casos onde o tempo de execução desejado é muito baixo, HCOC encontrou escalonamentos melhores que uma abordagem gulosa, tirando vantagem do conhecimento de processadores *multicore*, que potencialmente reduzem a comunicação entre tarefas dependentes. Como resultado, HCOC foi capaz de reduzir o número de violações de *deadlines* também nesses casos. A Tabela 1 mostra a porcentagem de violações do *deadline* para a aplicação Montage. Podemos notar que o HCOC, através de políticas de escalonamento que consideram recursos *multicore*, é capaz de reduzir o número de violações de *deadline* quando comparado ao escalonamento na nuvem privada

e também à abordagem gulosa. Uma avaliação extensiva do HCOC é apresentada em [Bittencourt and Madeira 2011].

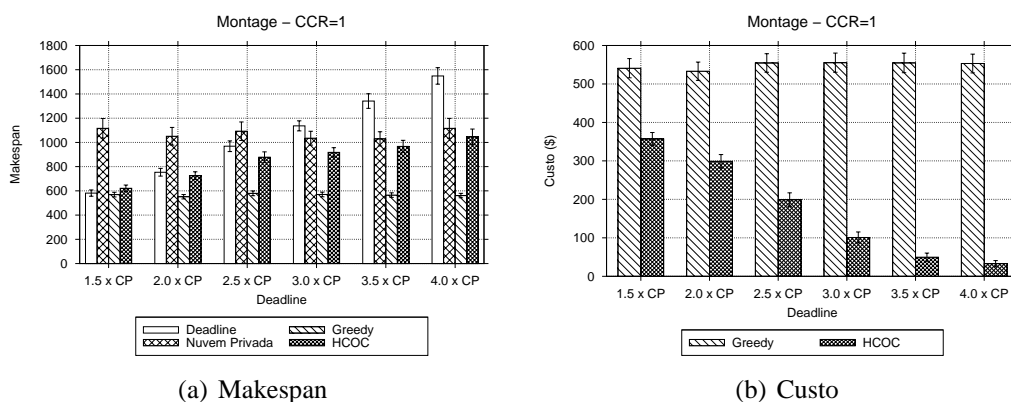


Figura 1. Resultados para DAGs Montage com tamanho entre 5 e 100 nós.

Tabela 1. Porcentagem de escalonamentos da aplicação Montage (entre 5 e 100 nós) que não obedeceram o deadline \mathcal{D} .

| Algoritmo | Deadline | | | | | |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | $\mathcal{D} = 1.5 \times CP$ | $\mathcal{D} = 2.0 \times CP$ | $\mathcal{D} = 2.5 \times CP$ | $\mathcal{D} = 3.0 \times CP$ | $\mathcal{D} = 3.5 \times CP$ | $\mathcal{D} = 4.0 \times CP$ |
| Nuvem privada | 92.7 | 71.2 | 45.1 | 22.6 | 11.1 | 8.5 |
| Greedy | 47.5 | 22.7 | 14.7 | 6.1 | 3.6 | 1.5 |
| HCOC | 31 | 12.9 | 4.8 | 1.5 | 0.3 | 0 |

3. Conclusão

Apresentamos um algoritmo para escalonamento de *workflows* em nuvens híbridas considerando *deadlines* de aplicação. O algoritmo tem como objetivo realizar o escalonamento obedecendo o *deadline* e reduzindo os custos monetários provenientes do aluguel de recursos da nuvem pública. Resultados sugerem que o algoritmo é capaz de reduzir custos monetários e obedecer os *deadlines*, melhorando os resultados da execução na nuvem privada e evitando gastos de execução na nuvem pública.

Referências

- Assunção, M. D., Costanzo, A., and Buyya, R. (2010). A cost-benefit analysis of using cloud computing to extend the capacity of clusters. *Cluster Computing*, 13:335–347.
- Bittencourt, L. F. and Madeira, E. R. M. (2011). HCOC: A cost optimization algorithm for workflow scheduling in hybrid clouds. *Journal of Internet Services and Applications*. (Aceito para publicação / disponível online).
- Van den Bossche, R., Vanmechelen, K., and Broeckhove, J. (2010). Cost-optimal scheduling in hybrid iaas clouds for deadline constrained workloads. In *3rd IEEE International Conference on Cloud Computing*, Miami, USA. IEEE Computer Society.
- Vecchiola, C., Calheiros, R. N., Karunamoorthy, D., and Buyya, R. (2011). Deadline-driven provisioning of resources for scientific applications in hybrid clouds with aneka. *Future Generation Computer Systems* (Aceito para publicação / disponível online).
- Zhang, Q., Cheng, L., and Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*, 1(1):7–18.