

Um Algoritmo de Escalonamento em Computação em Nuvem Energeticamente Consciente

Pedro Paulo Vezzà Campos

MONOGRAFIA APRESENTADA
AO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE
BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Programa: Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Daniel Macêdo Batista

26 de agosto de 2013

Sumário

I	Parte Objetiva	1
1	Cronograma	3
1.1	Tarefas Realizadas	3
1.2	Tarefas em Andamento	3
1.3	Tarefas a fazer	3
2	Introdução	5
2.1	Motivação	5
2.2	Objetivos	6
2.3	Desafios	6
3	Conceitos	7
3.1	Computação em Nuvem	7
3.2	Escalonamento de Tarefas	7
3.3	Consumo Energético	7
3.4	Ambiente de Simulação	7
4	Experimentos	9
4.1	O Estado da Arte	9
4.2	Algoritmo Proposto	9
4.3	Resultados Experimentais	9
5	Conclusões	11
5.1	Considerações Finais	11
II	Parte Subjetiva	13
6	O Trabalho de Conclusão de Curso	15
6.1	Desafios e frustrações	15
6.2	Observações sobre a aplicação real de conceitos estudados	15
7	A Graduação em Ciência da Computação	17
7.1	Disciplinas cursadas relevantes para o desenvolvimento do TCC	17
7.2	Próximos Passos	17
	Referências Bibliográficas	19

Parte I

Parte Objetiva

Capítulo 1

Cronograma

1.1 Tarefas Realizadas

1. Leitura da bibliografia sobre:
 - Vantagens da virtualização de servidores em termos energéticos: [BH07] [BB10] [BGD⁺09] [FC07] [Mur08] [VMw] [RSR⁺07]
 - Arquitetura interna dos simuladores utilizados: CloudSim e WorkflowSim [CRB⁺11] [CD12]
 - Escalonamento de tarefas em computação em grade (*grid computing*) [CBdF11] [BCdF11]
2. Experimentos iniciais com quatro simuladores de *grid/cloud computing*: CloudSim, GridSim, SimGrid e WorkflowSim.
3. Simulação energética de experimentos-controle no CloudSim.
4. Estudo do código fonte C++ produzido no artigo [CBdF11]

1.2 Tarefas em Andamento

1. Implementação do algoritmo HEFT

1.3 Tarefas a fazer

1. Expor a API energética presente no CloudSim mas que foi escondida pelo WorkflowSim
2. Implementar requisitos de software no WorkflowSim
3. Implementar o algoritmo de [CBdF11] no WorkflowSim.
4. Trabalhar com Elaine Watanabe na concepção de um novo algoritmo de escalonamento.

Capítulo 2

Introdução

Esta monografia desenvolvida durante o ano de 2013 para a disciplina MAC0499 – Trabalho de Formatura Supervisionado apresenta os trabalhos realizados no estudo e experimentação com técnicas de escalonamento de tarefas em ambientes de computação em nuvem sob a orientação do professor Daniel Macêdo Batista.

Em conjunto com a aluna de mestrado Elaine Watanabe, foi desenvolvido e testado um novo algoritmo fosse energeticamente eficiente. Enquanto a aluna focou na concepção do algoritmo, o aluno dedicou-se a adaptar simuladores existentes para validar o algoritmo e realizar experimentos que atestem sua a qualidade.

A parte objetiva deste trabalho está organizado da seguinte forma: No capítulo 3 são apresentados brevemente os conceitos que fundamentam pesquisas na área e que são necessários para a compreensão dos capítulos seguintes. Posteriormente, no capítulo 4 o foco é direcionado para a situação atual na área de estudo, é apresentado de maneira profunda o novo algoritmo desenvolvido juntamente com resultados experimentais comparativos. Conclusões e considerações finais são descritas em 5.

Já a parte subjetiva está organizada em dois tópicos principais: No capítulo 6 há uma reflexão acerca do processo de produção deste trabalho e sua aplicação. Já no capítulo 7 há uma reflexão mais ampla sobre as experiências vividas em cinco anos de graduação em duas universidades distintas e uma previsão dos próximos passos a seguir.

2.1 Motivação

Desde a década de 1970 a oferta de poder computacional, armazenamento e comunicação vem crescendo em um ritmo exponencial com o tempo. Até o fim da década de 1990 essas necessidades vinham sendo supridas com aperfeiçoamentos nas arquiteturas dos computadores e melhorias no processo produtivo. A Lei de Moore continuava se mostrando válida, duplicando o poder dos computadores e servidores a cada 18 meses e, junto com esse aumento, impondo uma necessidade energética cada vez maior para manter o computador funcionando e refrigerado. Porém, com a chegada dos anos 2000 percebeu-se que o projeto de processadores encontrou uma barreira de potência. Processadores da época, tal como o Pentium 4, dissipavam 100W de potência e sua eficiência energética era baixa. [PH12] Assim, surgiu uma nova tendência, processadores mais simples e mais paralelos utilizando novas técnicas de economia de energia. Em suma, surgiu uma demanda por uma computação mais “verde” (*green computing*).

Iniciou-se, assim, uma tendência de concentração do poder de computação e armazenamento em torno dos grandes *data centers* e *data warehouses*. A computação em nuvem (*cloud computing*) passou a ser apresentada como uma solução para a redução de custos e desperdícios através da racionalização de recursos computacionais. Na seção 3.1 são apresentadas as inovações presentes nesse modelo de computação. Porém, o sucesso dessa metodologia depende de estratégias inteligentes que permitam gerenciar os recursos disponíveis permitindo realizar uma economia de escala sem afetar os usuários.

Em um nível mais técnico, uma nuvem é desenhada para executar tarefas, estas subdivididas em subtarefas. Cada subtarefa pode possuir uma demanda específica de ambiente para ser executada, sistema operacional, programas instalados, poder mínimo de processamento, armazenamento, etc. Ainda, subtarefas podem depender de que uma subtarefa anterior tenha sido concluída antes de poder ser executada. Em [CBdF11] e [BCdF11] Chaves e Batista mostraram que é possível modelar tais tarefas como digrafos acíclicos (DAGs) que incorporem as demandas de ambiente. Ainda, desenvolveram uma heurística para escalonar as subtarefas em computação em grade (*grid computing*), similar à computação em nuvem, visando diminuir o tempo de conclusão da tarefa através da otimização do tráfego de rede necessário.

2.2 Objetivos

Este trabalho tem por intenção implementar e validar uma nova heurística para o problema apresentado que também otimize o consumo energético sem grandes prejuízos ao tempo de execução da tarefa. A heurística foi desenvolvida por Elaine Watanabe, aluna de Mestrado em Computação do IME/USP. O desempenho desse algoritmo é ser comparado com a heurística proposta por Chaves e Batista em [CBdF11] e [BCdF11] e com outros algoritmos com objetivos similares encontrados na literatura. Para isso será feito uso de um simulador de computação em nuvem, o WorkflowSim, a ser detalhado na seção 3.4.

2.3 Desafios

As dificuldades enfrentadas neste artigo vem de duas fontes: A primeira é tecnológica, há diversos simuladores de computação em nuvem ou em grade, porém o tópico de simulação energética é relativamente recente como atividade de pesquisa. Sendo assim, de todos programas de simulação estudados, CloudSim, GridSim, SimGrid e WorkflowSim, apenas o primeiro possui tal funcionalidade funcional. O simulador escolhido, WorkflowSim, apesar de ser baseado no CloudSim não tem por padrão a API de simulação energética disponível. Uma das tarefas da monografia foi justamente resolver tal problema.

O outro desafio é uma questão computacional mais fundamental: O problema de escalonar tarefas em diversos processadores (Num sentido mais amplo do que seria um processador) é NP-completo. [Sin07] Para contornar esse problema foram desenvolvidas diversas heurísticas, inclusive a apresentada nesta monografia. Um trecho do livro *Task Scheduling for Parallel Systems* de Oliver Sinnen resume a relação custo-benefício que deve ser ponderada para a descoberta de um escalonamento ótimo:

Unfortunately, finding a schedule of minimal length (i.e., an optimal schedule) is in general a difficult problem. This becomes intuitively clear as one realizes that an optimal schedule is a trade-off between high parallelism and low interprocessor communication. On the one hand, nodes should be distributed among the processors in order to balance the workload. On the other hand, the more the nodes are distributed, the more interprocessor communications, which are expensive, are performed. In fact, the general decision problem (a decision problem is one whose answer is either “yes” or “no”) associated with the scheduling problem is NP-complete. [Sin07]

Capítulo 3

Conceitos

3.1 Computação em Nuvem

Dentro desse contexto surgiu o conceito de computação em nuvem. Apesar de ainda haver controvérsias na sua definição precisa, esse paradigma preza pela noção de utilizar recursos computacionais como poder de processamento, armazenamento e comunicação como um serviço. O pagamento pelos serviços é feito apenas considerando o que foi utilizado, tal como acontece com o fornecimento de energia elétrica. O objetivo final da computação em nuvem é concentrar dados para prover um serviço ubíquo ao usuário, empresas ou pessoas físicas, que delegariam a gestão dessa informação a terceiros competentes para prover um serviço de qualidade e seguro. Grandes empresas da área de tecnologia possuem soluções de computação em nuvem, dentre as quais podemos citar Amazon, Google, Microsoft, IBM, EMC, etc.

Uma importante vantagem da computação em nuvem é que com essa concentração de dados e serviços é possível desenvolver técnicas de otimização do uso de grandes data centers. Segundo estudo realizado por Barroso e Hölzle [BH07] em 5000 servidores do Google, raramente eles permanecem completamente ociosos e dificilmente operam próximos da sua utilização máxima. Na maior parte do tempo estão trabalhando entre 10% e 50% do nível máximo. Os autores mostram que justamente nessa faixa de utilização tais servidores são menos eficientes energeticamente. Computação em nuvem é uma candidata a ajudar a melhorar essa perspectiva. Através de virtualização e reposicionamento automático de máquinas virtuais no data center de maneira transparente, uma realidade em produtos pagos ou livres, é possível dimensionar qual parcela do data center estará ativa em um dado momento dependendo da demanda. Vários servidores com pouca utilização poderiam ser, por exemplo, virtualizados em um único servidor físico de modo que este trabalhe com uma utilização que seja mais eficiente.

3.2 Escalonamento de Tarefas

3.3 Consumo Energético

3.4 Ambiente de Simulação

Capítulo 4

Experimentos

4.1 O Estado da Arte

4.2 Algoritmo Proposto

4.3 Resultados Experimentais

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Considerações Finais

Parte II

Parte Subjetiva

Capítulo 6

O Trabalho de Conclusão de Curso

6.1 Desafios e frustrações

6.2 Observações sobre a aplicação real de conceitos estudados

Capítulo 7

A Graduação em Ciência da Computação

7.1 Disciplinas cursadas relevantes para o desenvolvimento do TCC

7.2 Próximos Passos

Referências Bibliográficas

- [BB10] Anton Beloglazov e Rajkumar Buyya. Energy Efficient Allocation of Virtual Machines in Cloud Data Centers. *2010 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing*, páginas 577–578, 2010. 3
- [BCdF11] D.M. Batista, C.G. Chaves e N.L.S. da Fonseca. Embedding software requirements in grid scheduling. Em *Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on*, páginas 1–6, 2011. 3, 6
- [BGD⁺09] A. Berl, E. Gelenbe, M. Di Girolamo, G. Giuliani, H. De Meer, M. Q. Dang e K. Pentikousis. Energy-Efficient Cloud Computing. *The Computer Journal*, 53(7):1045–1051, Agosto 2009. 3
- [BH07] L.A. Barroso e U. Hölzle. The case for energy-proportional computing. *Computer*, 40(12):33–37, 2007. 3, 7
- [CBdF11] C.G. Chaves, D.M. Batista e N.L.S. da Fonseca. Scheduling grid applications with software requirements. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 9(4):578–585, 2011. 3, 6
- [CD12] Weiwei Chen e E. Deelman. Workflowsim: A toolkit for simulating scientific workflows in distributed environments. Em *E-Science (e-Science), 2012 IEEE 8th International Conference on*, páginas 1–8, 2012. 3
- [CRB⁺11] Rodrigo N. Calheiros, Rajiv Ranjan, Anton Beloglazov, César A. F. De Rose e Rajkumar Buyya. Cloudsim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms. *Softw. Pract. Exper.*, 41(1):23–50, Janeiro 2011. 3
- [FC07] Wu-chun Feng Wu-chun Feng e K W Cameron. The Green500 List: Encouraging Sustainable Supercomputing. *Computer*, 40(12):50–55, 2007. 3
- [Mur08] San Murugesan. Harnessing Green IT : Principles and Practices. *IT Pro*, (February), 2008. 3
- [PH12] D.A. Patterson e J.L. Hennessy. *Computer Organization and Design: The Hardware/-software Interface*. Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics. Morgan Kaufmann, 2012. 5
- [RSR⁺07] Suzanne Rivoire, Mehul A Shah, Parthasarathy Ranganathan, Christos Kozyrakis e Justin Meza. Models and Metrics to Enable Energy-Efficiency Optimizations. (December):39–48, 2007. 3
- [Sin07] O. Sinnen. *Task Scheduling for Parallel Systems*. Wiley Series on Parallel and Distributed Computing. Wiley, 2007. 6
- [VMw] VMware. How VMware Virtualization Right-sizes IT Infrastructure to Reduce Power Consumption. 3